

**MASTER 2ème ANNEE
MENTION SCIENCES POUR L'ENVIRONNEMENT (BGAE)
SPECIALITE BIODIVERSITE DES INTERACTIONS MICROBIENNES ET
PARASITAIRES (BIMP)**

**PARCOURS SANTE ANIMALE ET EPIDEMIOSURVEILLANCE
DANS LES PAYS DU SUD (SAEPS)**

RAPPORT DE STAGE

**Description et analyse des mouvements commerciaux
des bovins sur les Hautes Terres de Madagascar et leur
rôle potentiel dans la dissémination de la FVR**



**Présenté par
Gaëlle NICOLAS**

Réalisé sous la direction de : Véronique CHEVALIER
Raphaël DUBOZ

Organisme et pays : FOFIFA-DRZV / CIRAD - MADAGASCAR
Période du stage : du 14 Mars au 2 septembre 2010
Date de soutenance : 16 septembre 2010

Résumé et mots clés

En 2008, des épisodes de Fièvre de la Vallée du Rift ou FVR sont apparus dans la commune d'Ambongamarina. Pourtant, le contexte climatique de cette zone n'est pas favorable au développement de vecteurs en forte densité. Nous avons donc cherché à étudier les mouvements des bovins liés à cette zone, qui pourraient être à l'origine d'une transmission directe. Les pratiques commerciales des éleveurs de cette commune ont été étudiées afin de déterminer l'impact qu'elles peuvent avoir sur cette répartition de la maladie. Le réseau de commercialisation a ainsi été identifié. Sur les 68 marchés du réseau identifié, 18 ont pu être enquêtés. Les données de mouvements entre chaque village de la commune ont été ajoutées à l'analyse.

Au sein de la Commune Ambongamarina, deux types de commerce ont pu être mis en avant. Lors des enquêtes, 163 personnes nous ont révélés avoir pratiqué des achats/ventes entre 2007 et 2009, contre 73 pour les échanges. Les réseaux d'échanges et d'achats/ventes de la Commune Ambongamarina ont été construits grâce à la méthode d'Analyse des Réseaux Sociaux (SNA). L'analyse de ces deux réseaux montre qu'ils sont très différents par leurs chemins de commercialisations mais aussi par leurs plaques tournantes.

De même, le réseau des flux de bovins existant entre les marchés et les villages de la Commune, a été construit et représente à la fois les activités commerciales des éleveurs et des collecteurs. Les indices de centralité, spécifiques au SNA, qui ont été appliqués semblent désigner les marchés d'Ambatomena et Ambohimandroso comme les marchés les plus influents du réseau. Il semblerait, par ailleurs, que celui d'Ambatomena soit un super spreader. Pour la Commune, 3 villages ressortent comme à risques pour la diffusion de la FVR. Les indices de centralité pourraient indiquer que les villages les plus à risque pour la diffusion de la FVR d'après les analyses statistiques, basées sur la typologie des élevages de la Commune étudiée, ne soient pas les villages les plus centraux du réseau. Cependant des liens commerciaux ont pu être dégagés entre ces villages dits les plus à risque et les marchés liés à la Commune, notamment celui d'Ambatomena.

L'ensemble des résultats préliminaires semble mettre en avant une influence des mouvements de bovins dans la dispersion de la FVR au sein de la commune étudiée. Ces résultats ne sont cependant pas suffisants pour affirmer cette influence. Cette première étape de modélisation servira de base et sera approfondie par d'autres études, lors d'une thèse de doctorat sur la Diffusion de la FVR par les mouvements de ruminants.

Mots clés : Fièvre de la vallée du rift, bovins, Analyse des Réseaux Sociaux, commercialisation, diffusion.

Abstract

In 2008, Rift Valley Fever (RVF) outbreak appeared in the town of Ambongamarina. But, climatic context of this area is not successful for the development of the vectors. So we have been studied the movements of cattle linked to this area whose could be to the origin of direct transmission. Trade practices of collectors and town's breeders have been studied to show their impact on dispersion of this disease. Trading network has been identified and 18 markets have been investigated on the 68 identified in the network. Movement information between each village of the town has been added.

Networks of interchange and purchase/sale of the Ambongamarina's town have been building with Social Network Analysis method (SNA). During investigation, 163 people have been said to practice purchase/sale versus 73 for the exchanges. The two network analyses showed they are very different by their path of commercialization. Villages of Amboanonoka and Ambongamarina are super spreader for the two networks but by their more influents nodes, too.

Network of cattle flow between market and villages of the town have been built and represent breeders' and collectors' activity. Centrality indexes, specific to SNA, have been used to identify more influents nodes of network. It shows that Ambatomena and Ambohimandroso market play this part and that Ambatomena market could be super spreader. For the town, 3 villages seem to be with risk of diffusion of RVF. Centrality indexes could be show that the villages with more risk for the diffusion of RVF by statistical analysis, based on typology of stockbreeding of the studied town, are not the more influents villages of network. But a few commercial links have been identified between this villages and market linked at the Commune, in particular Ambatomena.

These premiums results seem to argue that movement of cattle affect dispersion of RVF, in particular in the town. This first step of modeling will be used as a basis and will be detailed by other steps, during thesis on Diffusion of the RVF by the movements of ruminants.

Key words: Rift valley fever, cattle, Social Network Analysis, trading, spread.

Sommaire

Liste des tableaux et des figures.....	5
Abréviations.....	6
Introduction.....	8
1- Généralités	10
<u>1.1- La Fièvre de la Vallée du Rift</u>	<u>10</u>
1.1.1- L'agent pathogène.....	10
1.1.2- Mode de transmission.....	11
1.1.3- Manifestations cliniques	12
1.1.4- Diagnostic.....	13
1.1.5- Traitement et Prévention.....	14
<u>1.2- La FVR à Madagascar</u>	<u>14</u>
1.2.1- Madagascar	14
1.2.2- Les précédentes épizooties et épidémies	16
1.2.3- Rôle des marchés dans la transmission des pathologies animales.....	18
2- Matériels et Méthodes	18
<u>2.1- Analyse des réseaux sociaux (ARS ou SNA)</u>	<u>18</u>
2.1.1- Définition de l'analyse des réseaux sociaux.....	19
2.1.2- Utilisation en épidémiologie	19
2.1.3- Utilisation du SNA dans l'étude	20
<u>2.2- Choix de la zone d'étude.....</u>	<u>21</u>
<u>2.3- Collecte des données.....</u>	<u>22</u>
2.3.1- La base de données source.....	22
2.3.2- Les enquêtes	22
2.3.2.1- <i>Questionnaire d'enquêtes</i>	22
2.3.2.2- <i>Echantillonnage boule de neige</i>	23
2.3.2.3- <i>Nos enquêtes</i>	23
<u>2.4- Les outils : R, Microsoft Access... ..</u>	<u>24</u>
3- Résultats	25
<u>3.1- Les marchés</u>	<u>25</u>
3.1.1- Les marchés enquêtés	25
3.1.2- Les circuits de collecte	25
3.1.3- Importance des marchés.....	26

<u>3.2- La filière bovine du triangle des Hautes Terres malgaches</u>	<u>27</u>
3.3.1- Les acteurs.....	27
3.3.2- Le transport.....	28
3.3.3- Origine des bovins.....	29
3.3.4- Les périodes les plus à risques (flux maximum)	29
3.3.5- Biosécurité	30
<u>3.3- Les filières ovines et caprines à Madagascar</u>	<u>31</u>
<u>3.4- Le réseau de commercialisation: flux de bovins</u>	<u>32</u>
3.4.1- Les réseaux de commercialisation de bovins au sein de la Commune Ambongamarina.....	32
3.4.2- Le réseau de commercialisation des bovins sur les hautes terres.....	36
4- Discussion	39
Conclusion.....	43
Bibliographie	44
Annexes	49

Liste des tableaux et des figures

Liste des figures

Figure 1: Zones de circulation endo-épidémique du virus de la FVR © modifié de CDC	8
Figure 2: Virus de la fièvre de la Vallée du Rift © Lefèvre P-C., 2010	10
Figure 3: Cycle de transmission de la fièvre de la vallée du rift © Chevalier V., et al., 2010	11
Figure 4 Localisation de Madagascar	14
Figure 5: Répartition des bovins à Madagascar © d'après les données WAHID	15
Figure 6: Découpage administratif de Madagascar : Les régions et les districts © données de la FTM de Mars 2008, non publiée.....	17
Figure 7: Localisation (communes et districts) des foyers de FVR confirmé par l'Institut Pasteur en 2008.....	18
Figure 8: Utilisation des bovins achetés par les éleveurs.....	25
Figure 9: Nombre d'animaux présent par jour de marché.....	26
Figure 10: Etat des animaux arrivant à pied (A) ou par camion (B) sur les marchés	29
Figure 11: Période de présence maximale des bovins sur les marchés en nombre de marchés concernés © d'après les registres des communes enquêtées	30
Figure 12: Tuerie privée d'un collecteur de petits ruminants proche d'Antananarive.....	31
Figure 13: Abattoir de Tsiromandidy.....	31
Figure 14: Réseau d'échange de bovins pour la commune Ambongamarina	32
Figure 15 : Réseau d'achats/ventes des bovins de la commune Ambongamarina.....	34
Figure 16 : Réseau global de la commercialisation des bovins de la commune Ambongamarina	34
Figure 17: Pratique commerciale des éleveurs de la commune Ambongamarina	35
Figure 18 : Liens communs aux deux réseaux précédents.....	35
Figure 19: Histogramme des degrés des réseaux de la commune Ambongamarina.....	36
Figure 20 : Réseau de commercialisation des bovins des marchés liés à la Commune Ambongamarina.....	36
Figure 21 : Réseau de commercialisation, liés à la commune d'étude, des Hautes Terres	38

Liste des tableaux

Tableau 1: Valeurs de betweenness des villages à plus fort taux de commercialisation de la zone d'étude	33
Tableau 2: Valeurs des degrés totaux (degree), entrant (indegree) et sortant (outdegree) des villages des réseaux de la Commune Ambongamarina	33
Tableau 3: Indices de centralité du réseau des marchés des Hautes Terres de Madagascar	37
Tableau 4: Indices de centralité du réseau commercial total des Hautes Terres de Madagascar (Commune Ambongamarina et marchés des Hautes Terres).....	38

Abréviations

CDC	US Centers for Disease Prevention and Control
DSV	Direction des Services Vétérinaires
EMPRES	Emergency Prevention System
ENSO	El Niño-oscillation australe
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FOFIFA/DRZV	Département de recherches Zootechniques et Vétérinaires
FVR	Fièvre de la Vallée du Rift ou Rift Valley Fever
IgG	Immunoglobulin G
IgM	Immunoglobulin M
INSTAT	Institut des Statistiques de Madagascar
IPM	Institut Pasteur de Madagascar
IRD	Institut de recherche pour le développement
MAEP	Ministère de l'agriculture, de l'Elevage et de la Pêche
MST	Maladie Sexuellement Transmissible
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NIH	National Institutes of Health
OIE	Organisation mondiale de la santé animale
OMS/WHO	Organisation Mondiale de la Santé
Rift-OI	Epidémiologie de la Fièvre de la Vallée du Rift dans l'Océan Indien
SIDA	Syndrome d'Immuno Déficience Acquise
SNU	Système des Nations Unies (à Madagascar)
TCP	emergency Technical Cooperation Program
VFVR	Virus de la Fièvre de la Vallée du Rift ou Rift Valley Fever Virus

Remerciements

Je souhaite remercier toutes les personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de cette étude et qui m'ont permis d'effectuer tous les travaux dans de bonnes conditions.

Tout d'abord, le Dr Véronique Chevalier pour son encadrement, ses conseils tout au long du stage et sa confiance en me prenant sur le projet. J'espère avoir fait du bon travail.

Raphaël Duboz pour m'avoir aiguillée et soutenue pour les techniques d'analyse des réseaux sociaux (SNA), ainsi que ses conseils lors de la rédaction des résultats.

Le Dr Harentsoaniaina RASAMOELINA ANDRIAMANIVO pour ses conseils avisés.

Le Dr RAKOTONDRAVAO chef du département FOFIFA/DRZV pour son accueil et son appui logistique ainsi que les Dr Julie RAVAOMANANA, Modestine RALINIAINA et Frédéric STACHURSKI pour avoir su tenir ce rôle pendant les absences du chef de département.

Mr Henry, technicien et chauffeur, pour ne pas m'avoir perdue en brousse malgré les pistes difficiles parfois rencontrées et Tafk RAKOTOARIMANANA étudiant en thèse vétérinaire (malgré ses retards répétés qui m'auront au moins appris le dicton : les européens ont la montre et les malgaches ont le temps...) pour les traductions laborieuses mais précieuses qu'il m'aura faites.

Les agents de la DSV (dont les Dr Michel et Jean Baptiste) pour m'avoir facilité les prélèvements sanguins sur les marchés à bestiaux et les agents vétérinaires des marchés de Tsaratanana et Andriamena pour leur appui aux enquêtes de leur marché respectif.

Tous les maires, et leur délégué respectif, rencontrés dans les communes des marchés visités, pour toutes les informations et l'aide qu'ils m'ont apportés dans ma quête de l'origine des bovins.

Et enfin, bien entendu, tous les éleveurs et collecteurs qui m'ont accordé un peu de leur si précieux temps afin de répondre à mes questions les jours de marchés.

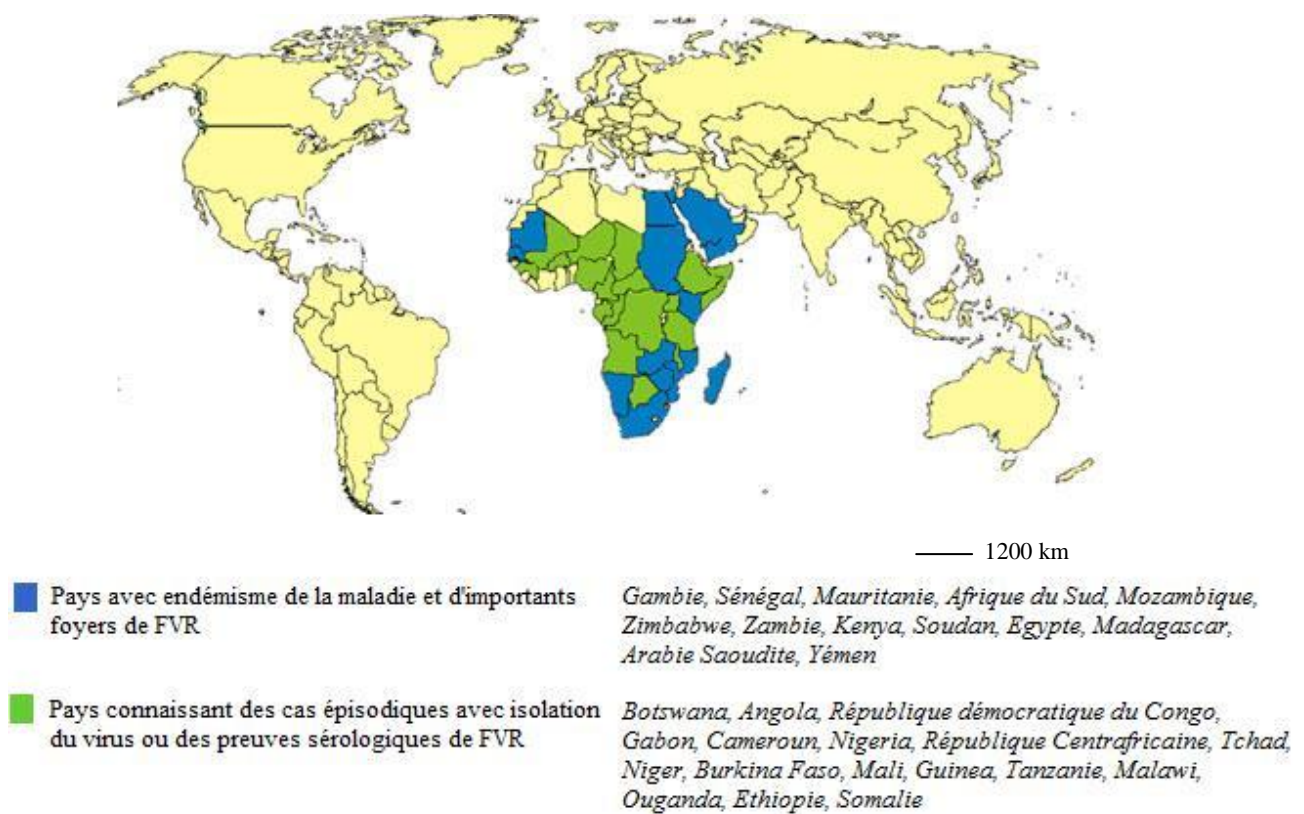


Figure 1: Zones de circulation endo-épidémique du virus de la FVR © modifié de CDC

Introduction

La Fièvre de la Vallée du Rift (FVR) est une arbovirose virale zoonotique majeure affectant principalement les ruminants (*e.g.*, bovins, ovins, caprins, *etc.*). Le Virus de la Fièvre de la Vallée du Rift (VFVR), responsable de cette maladie, a été identifié dans 30 pays dans lesquels les épidémies et épizooties de FVR apparaissent de manière périodique (Figure 1). Cette maladie a été identifiée pour la première fois en 1931 au cours d'une enquête sur une épidémie touchant les moutons d'une ferme de la Vallée du Rift, au Kenya (Daubney et *al.*, 1931 cité dans Shope et *al.*, 1982). Depuis, régulièrement, la FVR ressurgit. En 1951, en Afrique du Sud, une épizootie majeure a entraîné la mort de 100 000 moutons et l'avortement de 500 000 brebis (Swanepoel et *al.*, 2004 cité dans Bird et *al.*, 2009). Dès 1977, des foyers d'épidémies et épizooties, sont signalés le long du Nil et son delta en Egypte et en Afrique subsaharienne. Cette année là, 200 000 infections humaines ont été répertoriées dont 594 décès de patients hospitalisés (Meegan et *al.*, 1981) ainsi que des pertes considérables pour le cheptel avec des pertes estimées à 115 millions US \$. Dès lors, l'impact de la maladie sur l'homme est reconnu et même si de nombreux scénarios ont été envisagés (*e.g.*, mouvements de chameaux infectés le long de la route commerciale avec le Soudan, transport par le vent des moustiques vecteurs, *etc.*), les raisons de l'apparition de la FVR en Egypte sont encore aujourd'hui méconnues (Hoogstraal et *al.*, 1979). En 1997-1998, une flambée épidémique majeure s'est produite au Kenya et en Somalie faisant 500 victimes humaines et tuant des dizaines de milliers de têtes de bétail. Jusqu'en 2000, la maladie était restée cantonnée au continent africain (Jup et *al.*, 2002). Elle s'est ensuite étendue à l'Arabie Saoudite et au Yémen où les infections humaines ont été estimées à 2000 cas dont plus de 245 décès et tuant des milliers d'animaux (Swanepoel et *al.*, 2004 et CDC, 2000). De plus, des analyses génétiques du VFVR ont révélé que le virus isolé durant les épidémies Arabie Saoudite-Yémen était similaire à celui des épidémies Kenyanes de 1997-1998, ce qui suggère que le virus de l'année 2000 a été introduit à partir de la Corne de l'Afrique (Smithburn et *al.*, 1948 et Linthicum et *al.*, 1989), probablement par le biais du commerce animal. Plus récemment, en 2006 et 2007, la Somalie, le Kenya et la Tanzanie ont subi des foyers qui ont causé 698 décès humains et des dégâts considérables sur le cheptel ruminant (Bird et *al.*, 2008). Dès Janvier 2010, après de fortes précipitations, des épidémies de FVR ont été notifiées en Afrique du Sud. Le 24 juin le laboratoire confirmait 221 cas humains et 1307 cas animaux (The Herald online, 2010 et WAHID, 2010). Depuis le 10 mai, la Namibie a déclaré à l'OIE 12 foyers sans cas humain (OIE, 2010). Les mouvements d'animaux ont dès lors été mis en cause dans cette propagation qui semblerait venir d'Afrique du Sud.

La multiplication des foyers de FVR aux cours des dernières années et la large répartition de cette maladie (*i.e.*, du cap de bonne espérance en Afrique du Sud jusqu'au Delta du Nil en Egypte) rendent sa surveillance difficile. Par ailleurs, les premières manifestations de la maladie en dehors du continent africain ont suscité des inquiétudes sur la possibilité de son extension à l'Asie et à l'Europe (AFSSA, 2005 et Chevalier et *al.*, 2010). Depuis, le sud de l'Afrique et les îles de l'océan indien (*i.e.*, Comores, Mayotte, et Madagascar) ont été touchés (Raveloson et *al.*, 2009 et Sissoko et *al.*, 2008). Dès lors, des modèles de prévisions des épidémies de FVR utilisant des images satellite de la NASA¹ et des prévisions météorologiques et climatiques ont été mis en place avec succès en réussissant à prévoir les flambées épizootiques en Afrique de l'est (EMPRES Watch, 2008 et FAO, 2008) et permettant ainsi la mise en place de mesures préventives appropriées et la limitation de l'impact des épidémies.

Lors du premier isolement du VFVR à Madagascar, en 1979² (Clerc et *al.*, 1982 cité dans Morvan et *al.*, 1991) le virus, proche de la souche égyptienne, a été retrouvé chez les moustiques

¹ Contrôle et mesures des conséquences de l'augmentation des précipitations sur la végétation grâce à la télédétection par satellite.

² Pour plus d'information voir §1.2.2

mais en aucun cas dans la population animale. Lors des épidémies des années 1990, le virus a été identifié dans la population animale mais pas chez les vecteurs. Enfin, lors des dernières flambées des années 2008 et 2009, le virus a été retrouvé dans les deux populations et a causé de nombreux décès chez l'homme avec des cas graves de forme hémorragique (Raveloson et *al.*, 2009). Les dernières recherches menées par l'IPM et la FAO ont démontré que le VFVR responsable de ces dernières flambées était proche de la souche kenyane (Andriamandimby et *al.*, 2010). Puisque les flambées de cette maladie, à Madagascar, ont été causées par des virus de souches différentes, des doutes sont à émettre sur l'hypothèse, selon laquelle la FVR y serait endémique (Laboratoire de Spiez, 2006). Cette variabilité de souche lors des différentes épidémies pourrait impliquer une introduction du virus avant chaque flambée. Par ailleurs, à Madagascar, les modèles de prévision climatique Est-Africain n'ont pas pu prévoir les flambées de FVR pendant les saisons des pluies de 2008 et 2009 (Corso et *al.*, 2008). Tout ceci implique donc que les connaissances actuelles de la maladie, ne s'appliquent pas à Madagascar où le virus pourrait avoir une épidémiologie différente de ce qui est connu actuellement.

A Madagascar, 75% de la population dépend de l'agriculture et de l'élevage (Ralison, 2003). Les bovins ont une place importante dans cette société où les traditions ont encore une grande place. L'apparition d'une épizootie de FVR à Madagascar a eu des conséquences économiques sévères pour le secteur agricole. L'impact direct des avortements et de la mortalité animale est dramatique dans un environnement où les animaux d'élevage jouent un rôle déterminant dans les systèmes de production (*e.g.*, les protéines alimentaires comme la viande ou le lait, la force de traction, le cuir et les peaux, la fumure animale pour l'agriculture), l'économie rurale (*i.e.*, dats, fêtes, cérémonie, valorisation des sols, *etc.*) et l'autosuffisance alimentaire permise par les cultures de riz dépendante du travail des bovins. De plus, d'après le Ministère de l'Agriculture, de l'élevage et de la pêche (MAEP) Madagascar est classé parmi les 30 pays les plus menacés par la crise alimentaire mondiale. Dans un tel contexte, la FVR représente une contrainte supplémentaire à la survie des foyers ruraux les plus pauvres.

Les mouvements d'animaux et leur commercialisation ont déjà été mis en cause dans la dissémination des pathologies animales par le passé (Dominguez et Dufour, 2005) et notamment dans le cas de la FVR (Linthicum et *al.*, 1989). A Madagascar, où l'évolution de la maladie est inattendue, les mouvements de bovins pourraient expliquer la large distribution de la maladie sur toute l'île ainsi que la réémergence de celle-ci dans des zones où le climat interdit à priori (i) une transmission continue du virus toute l'année et (ii) un maintien du virus dans le milieu pendant les périodes inter-épizootiques qui peuvent être très longues (*i.e.*, 5 à 15 ans).

L'objectif de mon étude était de construire et analyser le réseau de commercialisation des bovins sur deux niveaux : (i) la commune d'Ambogamarina, puis dans (ii) une zone plus étendue appelée triangle des Hautes Terres. Ces deux niveaux sont liés entre eux par les mouvements de bovins. La confrontation de ces résultats sur les mouvements avec les résultats sérologiques obtenus par des missions précédentes du projet Rift-OI, permettra dans un second temps de voir si effectivement on peut raisonnablement supposer (i) que la réémergence de la FVR dans la zone d'Anjozorobe est liée à l'introduction du virus via le commerce de bétail en provenance d'une ou plusieurs zones des Hautes Terres, (ii) que le virus une fois introduit dans la zone d'Anjozorobe s'est largement disséminé dans cette petite zone à cause des échanges de bovins à l'intérieur de cette zone.

Cette analyse s'inscrit dans le cadre du projet Rift-OI, coordonné par le Cirad, et qui a pour objectif général d'évaluer le risque d'introduction et d'installation de la FVR dans les îles de l'Océan Indien et de proposer des recommandations pour la prévention et le contrôle de la maladie dans cette zone. Il est divisé en quatre objectifs spécifiques distincts visant à (i) évaluer l'intensité de la circulation virale et les périodes de circulation dans une zone pilote de Madagascar, ainsi que les facteurs de risque de transmission et de réémergence à Madagascar, (ii) identifier les vecteurs et les réservoirs sauvages potentiels du VFVR sur l'île, (iii) quantifier le risque d'introduction du

VFVR en provenance de l'Afrique, et de dissémination entre les îles de l'Océan Indien en identifiant les routes d'introduction et de transmission, (iv) établir des recommandations pour la prévention et la lutte contre la maladie dans l'Océan Indien (Chevalier, 2009). Les instituts partenaires sont l'Institut Pasteur (IPM), l'IRD et le FOFIFA/DRZV³.

1- Généralités

1.1- La Fièvre de la Vallée du Rift

1.1.1-L'agent pathogène

La FVR est une arbovirose due à un *Phlebovirus* de la famille des *Bunyaviridae* qui affecte principalement les ruminants domestiques (bovins, ovins, caprins) et pouvant contaminer l'homme. Le VFVR, quant à lui, est une particule d'une centaine de nanomètres de diamètre, sphérique et enveloppée d'une membrane lipidique et de glycoprotéine de surface. Son génome est constitué de trois molécules d'ARN monobrin (L, M et S) (Laboratoire de Spiez, 2006). Chacune de ces dernières expriment des protéines virales structurales, au nombre de quatre (L, N, G₁ et G₂), ou non structurales (NSs et NSm). Le segment M code pour les glycoprotéines G₁ et G₂ (*i.e.*, spicules à la surface de l'enveloppe) qui sont responsables de la fixation du virus à la surface des cellules, de l'activité hémagglutinante et sont la cible de la réponse immunitaire humorale. C'est le segment S qui code pour la nucléoprotéine (N) et la protéine non structurale NSs qui bloque la production d'interféron par la cellule et est utilisable lors du diagnostic puisqu'il s'agit d'un marqueur de virulence (Flick et Bouloy, 2005) (Figure 2).

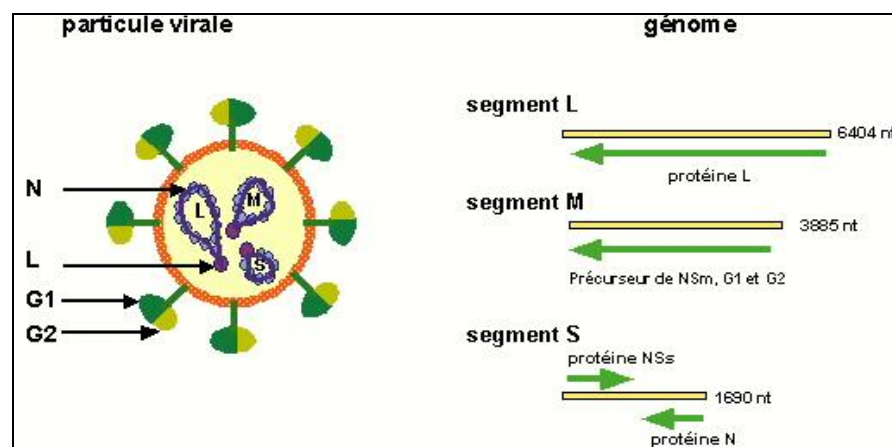


Figure 2: Virus de la fièvre de la Vallée du Rift © Lefèvre P-C., 2010

Lors d'une infection par le VFVR, l'animal va développer des anticorps neutralisants (*i.e.*, dirigés contre les glycoprotéines de surface), des anticorps inhibant l'hémagglutination et des anticorps fixant le complément. Les anticorps premier et dernier (*i.e.*, neutralisants et fixant le complément) persistent durant toute la vie économique de l'animal, alors que ceux fixant le complément disparaissent après un à deux ans. Lors d'une infection ou ré-infection, des IgM apparaissent (même si des IgG sont déjà présents), mais elles sont éphémères. Cette caractéristique est mise à profit pour le dépistage d'infections récentes (Lefèvre, 2010).

Le génome segmenté permet quant à lui au virus d'échanger son matériel génétique avec d'autres souches ou avec des virus apparentés lors d'une coïnfection. Ce phénomène de réassortiment existe chez le VFVR comme chez tous les virus à génome segmenté, le virus de la grippe en est un exemple bien connu. Il est très résistant dans le milieu extérieur (OIE, 2007) et ne

³ Représente la composante principale du Système National de Recherche Agricole à Madagascar. Placé sous la tutelle du Ministère de l'Education Nationale et de la Recherche Scientifique, il réalise toutes les recherches intéressant le développement rural

compte qu'un seul type antigénique dont le séquençage du génome a permis de classer les souches en trois lignées (*i.e.*, lignée Ia (Afrique centrale et de l'Est), lignée Ib (Afrique de l'Ouest) et lignée II (Égypte)).

Enfin, malgré la résistance du virus, celui-ci est inactivé lorsque le pH environnant est inférieur à 6,2, ce qui ne lui permet pas de survivre à la maturation de la viande et d'être détruit par les désinfectants.

1.1.2- Mode de transmission

Deux grands modes de transmission du virus (*i.e.*, vectoriel et direct) sont mis en cause dans la transmission de la FVR.

Transmission vectorielle:

Le moustique pique un animal virémique, et pourra alors s'infecter lui-même puis transmettre le virus à un autre ruminant lors de son prochain repas de sang. Dans le cas d'*Aedes mcintoshii*, il transmettra aussi le virus à sa descendance (Linthicum et *al.*, 1989), permettant ainsi au virus de persister dans la nature, pendant plusieurs années même dans des conditions de sécheresse (*i.e.*, dans les œufs infectés d'insectes) et de réapparaître à l'occasion d'épisodes de pluies torrentielles, au moment de l'éclosion des œufs (WHO, 2010) (Figure 3). Ceci a pu être observé en Afrique de l'est lors d'apparition de grandes épizooties correspondant aux périodes de pluviométrie intense où les gîtes larvaires sont inondés et les œufs éclosent, favorisant la pullulation des vecteurs (Zeller et *al.*, 1995). Un moustique devient infectant 1 semaine à 1 mois après avoir piqué un animal virémique (incubation extrinsèque).

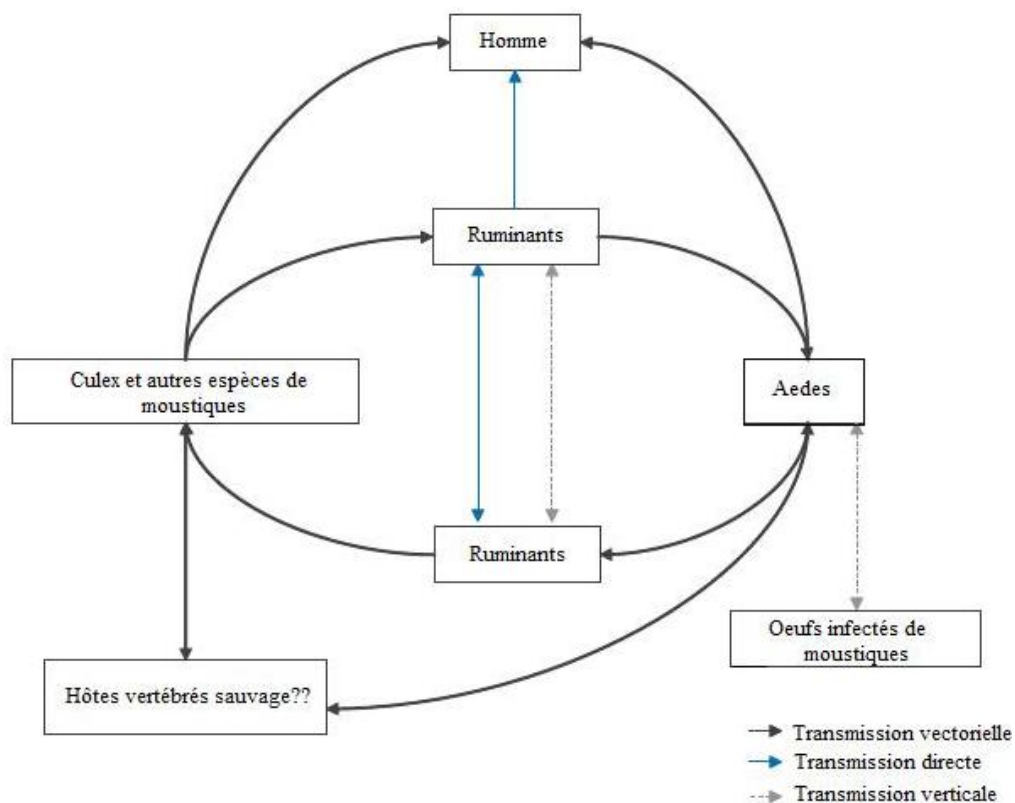


Figure 3: Cycle de transmission de la fièvre de la vallée du rift © Chevalier V., et al., 2010

Lors de la transmission vectorielle, ce sont le plus souvent des moustiques des genres *Aedes*, *Anopheles* ou *Culex* qui sont responsables. Dans un cadre très marginal, il semblerait que les mouches hématophages (*i.e.*, *Eretmapodites* et *Mansonia*) puissent transmettre cette maladie (OMS). Cependant, le nombre important de vecteurs potentiels et leur variation inter-région posent

problème. Il est en effet difficile de se protéger contre un vecteur que l'on ne connaît pas. Par ailleurs, de nouveaux vecteurs sont fréquemment identifiés (Fontenille et *al.*, 1998) ce qui complique le travail des chercheurs essayant de déterminer et comprendre le cycle de transmission de la maladie. Par exemple, dans les régions arides, les moustiques *Aedes* joueront un rôle prépondérant alors que les moustiques du genre *Culex* et *Anophèles* interviendront plutôt dans les zones ayant des précipitations réparties toute l'année ou celles où l'eau est présente de façon pérenne (*i.e.*, cours d'eau, irrigation (*e.g.*, vallée du Nil en Egypte et fleuve Sénégal en Afrique de l'Ouest)). Ceci est dû à la biologie de ces vecteurs. En effet, les moustiques des genres *Culex* et *Anophèles* apprécient surtout les zones où les eaux sont plutôt chaudes et stagnantes. Leurs larves étant inféodées à l'eau, sa présence est une nécessité pour la multiplication et le maintien de ces moustiques. En opposition, les moustiques du genre *Aedes* n'ont pas besoin de l'eau pour survivre. Cependant elle leur est nécessaire pour terminer leur cycle de développement. Les œufs peuvent rester en diapause en saison sèche et rester dans le sol pour éclore lors de pluies torrentielles.

Transmission directe :

La transmission directe se fait par contact avec du sang ou des organes d'animaux infectés. Elle existe de l'animal à l'homme et d'animal à animal. Les activités telles que l'abattage, la découpe d'animaux, les mises bas et autres interventions vétérinaires, *etc.* sont fréquemment à l'origine de l'infection chez l'Homme. C'est pour cette raison que les principales victimes des précédentes épidémies de FVR étaient des individus ayant des activités professionnelles en relation avec l'animal (*e.g.*, éleveurs, bouchers, employés d'abattoir, vétérinaires *etc.*) (Sissoko et *al.*, 2008 et Raveloson et *al.*, 2009). La cuisson suffisante des viandes et la pasteurisation de toute substance animale sont ainsi indispensables et recommandées par les campagnes de prévention (OFDA, 2009) dans les zones où la FVR est présente.

Même si elle n'a jamais été démontrée, la transmission directe est supposée être le mode de transmission principal pendant les épizooties. Même si la théorie nous suggère que la FVR peut être transmise entre Hommes, il n'y a eu jusqu'à ce jour aucun cas documenté de transmission interhumaine. L'homme est a priori un cul de sac épidémiologique : sa virémie est trop faible pour qu'un moustique puisse s'infecter en piquant un homme virémique et donc retransmettre ensuite le virus à un autre homme ou à un animal.

1.1.3- Manifestations cliniques

En règle générale, la FVR apparaît sous forme d'épizootie, la plupart du temps séparée de plusieurs années (5 à 15 ans). La maladie touche principalement les ruminants (*i.e.*, bovins, ovins, caprins) mais peut aussi toucher l'homme.

Chez l'homme :

L'infection causée par cette zoonose ressemble à une grippe dans la majorité des cas mais peut prendre des formes graves avec des complications nerveuses ou hémorragiques entraînant la mort. On estime que l'infection est asymptomatique dans la moitié des cas. Les formes symptomatiques sont, dans plus de 95% des cas, bénignes et s'apparentent à un syndrome grippal souvent confondu avec une crise de paludisme. Des formes plus sévères existent : oculaires (*i.e.*, photophobie, cécité), méningoencéphalitiques, hémorragiques. Cette dernière forme est la plus grave (1% des malades), provoquant une insuffisance hépatorénale et pouvant entraîner la mort.

Chez les ruminants :

La maladie peut aussi rester inapparente mais se caractérise souvent par un fort taux d'avortement en un laps de temps très court chez les femelles gestantes suivi de mortalités inexpliquées, surtout chez les jeunes animaux. Ce sont ces derniers et les races exotiques qui sont qualifiés de plus sensibles. Une perte d'appétit, une diminution de la production de lait, de la fièvre, parfois une jaunisse ou des saignements sont alors observés chez ces animaux. Chez les races

locales, la maladie peut passer inaperçue (FAO, 2003b). C'est d'ailleurs souvent le cas à Madagascar où les éleveurs ne se rendent pas compte que leurs animaux sont malades. Après la mort, l'animal est même consommé sans aucunes précautions. Les forts taux d'avortements sont généralement le signe qui alerte sur la présence de la maladie dans une exploitation.

- Ruminants adultes : la virémie dure environ 7 jours après infection. Les symptômes sont nombreux (*e.g.*, hyperthermie, jetage, vomissements, diarrhée parfois hémorragique, et surtout de nombreux avortements (jusqu'à 90%), *etc.*). Le taux de mortalité est de 20 à 30 % chez les ovins, 10 % maximum chez les bovins.
- Agneaux, chevreaux et veaux : la forme est souvent suraiguë évoluant en 48 h. Taux de mortalité atteignant 90 % chez les agneaux, 10 à 70 % chez les veaux.

Impact en santé publique :

L'institut Pasteur a déclaré, dans un communiqué de presse de février 2004, que ce "virus est classé dans la liste A du NIH et du CDC américains aux côtés de la peste et du charbon", tout comme l'OIE l'a classé sur sa liste A (OIE, 2008).

Historiquement, le VFVR est apparu périodiquement en Afrique et de manière transfrontalière avec des épizooties sévères (cf. Introduction). Depuis sa première apparition en 1931, le VFVR a causé des centaines de milliers de contaminations humaines et de décès, notamment chez les ruminants (*e.g.*, en Egypte (1977-1979) environ 200 000 personnes affectées, Sénégal et Mauritanie (1987) environ 89 000 personnes affectées, Arabie Saoudite et Yémen (2000) environ 2000 personnes sévèrement touchées et hospitalisées, *etc.*). Même si l'infection chez l'homme conduit plus souvent à un rétablissement qu'à des complications sévères ou à la mort, les signes cliniques de la FVR peuvent être incapacitants (*e.g.*, léthargie, fièvre, *etc.*) et nécessiter des interventions médicales pouvant encombrer le système de santé local (Bird et *al.*, 2008). Le principal impact en santé publique de l'introduction du VFVR dans une aire non endémique serait donc le nombre d'infections humaines. De plus, un des effets secondaires à cette introduction serait la peur. Elle concernerait l'alimentation, l'impact économique sur les éleveurs, les séquelles des personnes infectées mais aussi la méfiance des scientifiques et des autorités médicales et l'état psychologique de la population face à l'ampleur d'une telle épidémie et des moyens déployés. Les systèmes de santé vétérinaire seraient affectés au même titre que celui de santé publique. Par ailleurs, les euthanasies des animaux suspectés et la destruction à grande échelle des carcasses auraient un impact environnemental et social important sur l'opinion publique.

1.1.4- Diagnostic

Sur le plan clinique, la maladie doit être suspectée en zone d'endémie dès qu'il y a augmentation des avortements ou de la mortalité des jeunes ruminants.

Le diagnostic différentiel chez l'animal comprend d'une part les pathologies à évolution aiguë, engendrant des mortalités élevées (*i.e.*, entérotoxémie, anthrax, charbon symptomatique, colibacillose, intoxications, maladie de Wesselsbron, peste des petits ruminants, peste bovine) et les maladies abortives (*i.e.*, brucellose, salmonellose, fièvre catarrhale ovine, fièvre Q).

A l'autopsie les lésions sont : hépatite avec nombreux foyers nécrotiques blanchâtres associés à des hémorragies, splénomégalie, hypertrophie des nœuds lymphatiques, entérite hémorragique.

Au laboratoire, le virus peut être isolé à partir de sang total ou d'organes, sur culture cellulaire ou sur animal de laboratoire mais il faut un laboratoire de haute sécurité (P4) étant donné les risques pour l'homme. Les techniques utilisées sont l'immunofluorescence, la neutralisation virale, la RT-PCR. Le diagnostic sérologique se fait essentiellement par test ELISA. Il peut se faire sans risque, et les tests existants sont sensibles et spécifiques. Ils permettent de doser les anticorps IgG et IgM. Ces derniers apparaissent les premiers, trois jours post-infection et disparaissent après 2 à 6 mois. Ils indiquent donc une contamination récente. Les IgG apparaissent 2 mois post-infection et persistent 4 à 5 ans voire toute la vie de l'animal (FAO, 2003b).

1.1.5- Traitement et Prévention

Il n'existe aucun traitement spécifique. Si nécessaire un traitement symptomatique peut être instauré. Différents vaccins existent mais actuellement, aucun vaccin préventif qui soit approuvé par les vétérinaires n'est utilisé en Amérique du Nord ou en Europe. Le plus utilisé est un vaccin vivant atténué (souche *Smithburn*) considéré comme sûr et qui procure une bonne immunité avec une seule injection (OIE, 2002). Cependant il est à proscrire chez les femelles gestantes car il peut provoquer des avortements ou des malformations dans plus de 25% des cas animaux en gestation vacciné (Smithburn, 1949). Il n'est donc utilisable qu'en zones d'enzootie pour éviter une phase épizootique (*i.e.*, pour éviter une vague d'avortement chez le bétail vacciné et sain). Des vaccins inactivés, plus coûteux, existent mais nécessitent des rappels annuels et parfois plusieurs injections. Pour l'homme il existe aussi des vaccins mais qui ne sont pas produits à grande échelle et sont réservés au personnel à risque. Cependant, aucun des vaccins créés et utilisés ces dernières 50 années ne s'est montré très efficace ce qui a fait grandir l'incompréhension autour du VFRV (Bird et *al.*, 2009).

La prévention est donc extrêmement importante. De nombreux organismes favorisent l'éducation sanitaire et travaillent à la réalisation de campagne de prévention à grande échelle dans le but de diminuer le risque de transmission de l'animal à l'homme résultant de pratiques dangereuses d'élevage et d'abattage (*e.g.*, porter des gants et des vêtements de protection adaptés et faire attention au moment de manipuler des animaux malades, leurs tissus ou à l'abattage) ou encore de la consommation de sang frais, de lait ou de viandes crues précisant que dans les régions d'épizootie, tous les produits animaux (*i.e.*, sang, viande et lait) doivent être soigneusement cuits avant d'être consommés (OMS, 2007).

1.2- La FVR à Madagascar

1.2.1- Madagascar

Position géographique et données générales

Madagascar, dont la capitale est Antananarivo (altitude : 1250 m), est située dans la partie occidentale de l'Océan Indien. Elle est séparée de l'Afrique par les 415 km du canal du Mozambique et des Iles Maurice et de la Réunion par l'Océan Indien. Située dans l'hémisphère Sud entre les latitudes 12° et 25°30' Sud et les longitudes 40° et 50° Est, elle est traversée au sud par le tropique du Capricorne (Figure 4).

Avec une superficie de 587 000 km² pour environ 19 millions d'habitants dont 97% ont moins de 65 ans (0-14 ans: 44,8%; 15-64 ans: 52,2 %; + 65 ans: 3 %), 27% d'urbains, et une espérance de vie de 55 ans, Madagascar comporte une géographie et des climats très variés.

Une chaîne montagneuse centrale parsemée de massifs coupe l'île dans le sens nord-sud à une altitude généralement supérieure à 1000 m (les Hautes Terres représentent 60% de la superficie du pays). Ce relief divise le pays en trois bandes, du nord au sud : une bande côtière étroite à l'est, des hauts plateaux au centre et une zone de plateaux plus bas et de plaines à l'ouest. Sans oublier le "grand Sud" semi-aride.

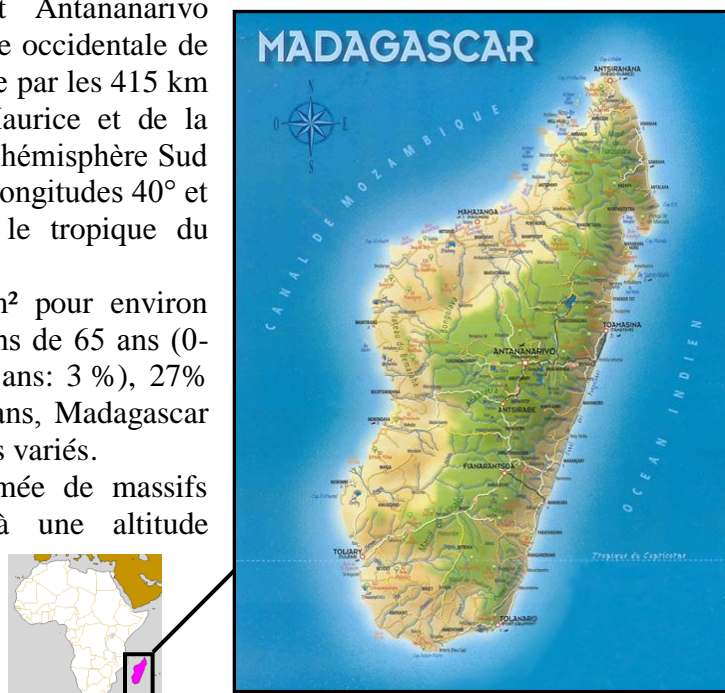


Figure 4 Localisation de Madagascar

Les cinq variétés de climat allant des forêts tropicales perhumides dans le Nord-est (en moyenne 3500 mm/an), aux fourrés épineux des zones subarides du Sud-ouest (moins de 350 mm/an) permettent à Madagascar une agriculture et un élevage riches et variables selon les régions.

L'originalité de Madagascar, réside dans son extrême diversité : la variété du relief et du climat a favorisé la biodiversité d'une flore et d'une faune caractérisées par un important taux d'endémisme. La flore malgache est l'une des plus riches du monde avec 8 500 espèces dont 4 900 qui sont endémiques comprennent sept espèces de baobabs et mille espèces d'orchidées. D'autre part, la faune y est aussi d'une variété extrême : 98% des espèces de mammifères sont endémiques, lémuriens et reptiles.

Découpage administratif

A Madagascar, le premier niveau de découpage du territoire est la Province, puis ce sont, par ordre décroissant, la Région, le District, la Commune, le Village et enfin le Hameau. Depuis peu, le découpage du territoire a été modifié (*i.e.*, octobre 2009). Les provinces ont été remplacées par 22 régions au sein desquelles sont retrouvés les Districts, aux nombres de 119 et eux-mêmes découpés en Communes puis Villages et Hameaux. Cependant, l'ancien découpage est toujours utilisé par le peuple malgache et le terme de Province est encore utilisé.

La Population animale

Sur l'île, il y a environ 29,5 millions de volailles, 2,3 millions de petits ruminants et un cheptel bovin estimé à près de 10 millions de têtes (MAEP, 2010 et Figure 5) avec un pourcentage de mâles castrés assez élevé (les zébus malgaches sont aptes à partir pour la boucherie dès 5 ans).

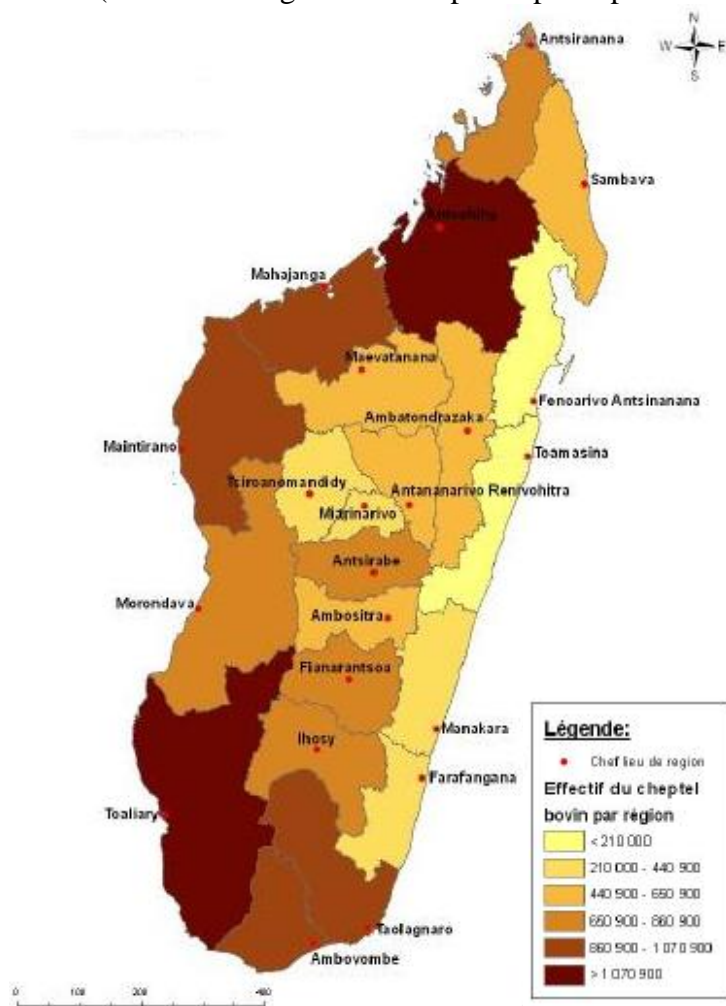


Figure 5: Répartition des bovins à Madagascar © d'après les données WAHID

Grâce à l'étendue du pâturage naturel et à l'absence d'un système agroindustriel développé, le mode d'exploitation du cheptel malgache est de type extensif (Ssartirano et *al.*, 1990). A Madagascar, l'élevage représente 15% du PNB qui se chiffre à près de 4 milliards de dollars. L'agriculture, quant à elle, représente 40% de ce PNB. Même si l'élevage ne représente qu'une faible part du PNB Malgache, il concerne une grande majorité de la population, avec des élevages qui sont souvent de petite taille (5 à 10 têtes). Dans les zones subarides, les éleveurs ont des troupeaux de grande taille (souvent plus de 100 têtes et jusqu'à plus de 1000). Ils se regroupent afin de mener leurs animaux jusqu'aux marchés et ainsi combattre les vols de bétail qui sont très fréquents dans les zones d'élevages.

Au niveau des villages, les mouvements d'animaux sont fréquents (*e.g.*, achats d'éleveurs à éleveurs, achats d'animaux par les bouchers locaux, divagation, *etc.*) Au niveau régional, les mouvements de bétail se font entre différents villages, voire différentes régions lors d'achats et de ventes d'animaux. Des mouvements sont aussi observés lors de la transhumance (dans la zone subaride) (annexe 1).

Prise en charge de la santé animale

La santé animale est prise en charge par la DSV qui dépend du ministère de l'élevage. Cependant, la faiblesse du système de santé (publique et animale) est surtout liée à la pauvreté du pays. L'instabilité politique et le faible taux d'alphabétisation restent problématiques malgré les tentatives de réformes. Ces éléments provoquent la paupérisation de l'île.

Sur l'île où le virus est considéré comme endémique par certains (Laboratoire de Spiez, 2006 et CDC, 2007), l'utilisation d'un vaccin, quel qu'il soit ne semble pas approprié. Il est tout de même à préciser qu'à Madagascar, la maladie reste encore assez méconnue et que le qualificatif de zone d'endémie pour la FVR est sans doute encore un peu incertain.

1.2.2- Les précédentes épizooties et épidémies

C'est en 1979 que le VFVR a été détecté à Madagascar pour la première fois depuis un pool de moustiques qui avait été capturé dans la forêt de Perinet dans le district de Moramanga (Figure 6). Il s'agissait d'une détection de virus à bas bruit et de façon localisée puisque seuls les moustiques étaient atteints.

En 1990 et 1991 la maladie a pris une forme épizootique sur la côte Est et sur les Hautes Terres autour d'Antananarivo, provoquant de nombreux avortements. La présence d'anticorps fut observée sur des humains mais sans cas cliniques apparents. Les foyers humains et animaux étaient apparus pendant la saison des pluies dans les districts de Fenerive-est (*i.e.*, Fenoarivo Antsinanana) et Vavatenina en 1990 et autour de la capitale (*i.e.*, Antananarivo) en février et avril 1991. En 2006, Madagascar a notifié à l'OIE la présence du virus, sans cas clinique (WAHID, 2006).

Le 9 avril 2008, le Ministère de l'Agriculture avait signalé des cas animaux de cette maladie à l'OIE. Entre le 18 avril 2008 et le 17 avril 2009, le Ministère malgache de la Santé a signalé plus de 400 cas humains suspects de FVR, dont 17 mortels dans les Régions d'Alaotra Mangoro, Analamanga, Itasy, Vakinankaratra et Anosy (Figure 6 et 7). D'après les publications internationales sur la santé humaine ou animale les taux de létalité et de mortalité sont respectivement de 4 et 2%. Pour 71 de ces cas suspects, l'infection par le virus de la FVR a été confirmée par le laboratoire de l'Institut Pasteur de Madagascar (Figure 7) qui est le centre de référence pour le dépistage des arboviroses (MAEP, 2009). Il a également confirmé 19 foyers animaux touchant surtout les bovins, mais aussi les chèvres et les moutons dans les districts d'Antananarivo Atsimondrano, Anjozorobe, Antsirabe, Manjakandriana, Miarynarivo, Antsiranana, Ambalavao et Moramanga.

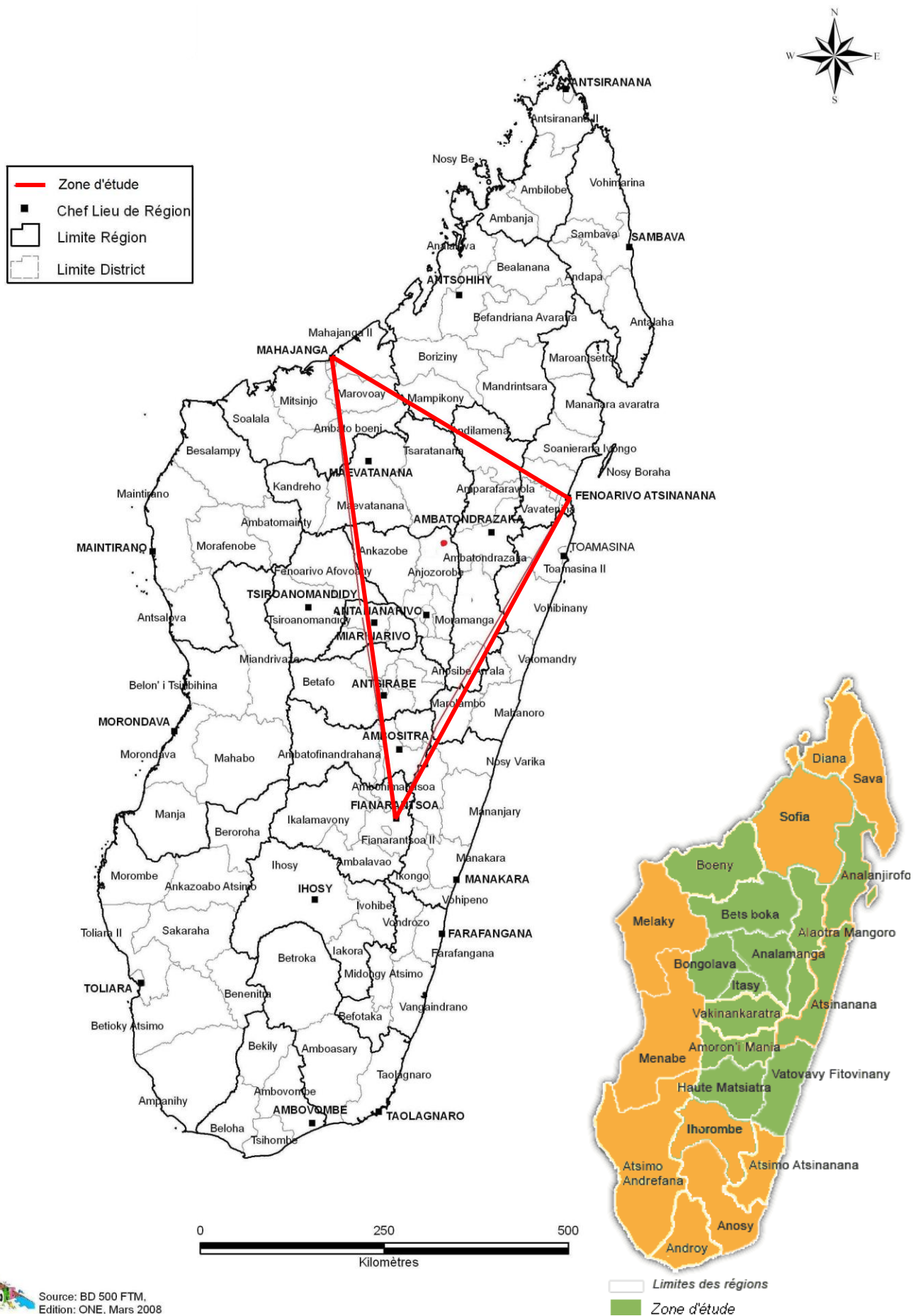


Figure 6: Découpage administratif de Madagascar : Les régions et les districts © données de la FTM de Mars 2008, non publiée

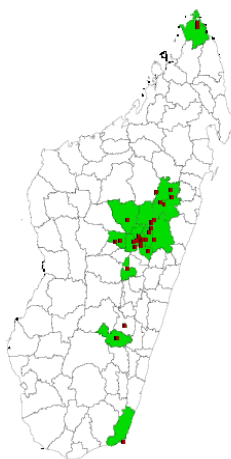


Figure 7: Localisation (communes et districts) des foyers de FVR confirmé par l'Institut Pasteur en 2008

Des mesures de lutte ont été prises pour la prise en charge des cas mais aussi la surveillance de la maladie et on peut lire sur le site de l'OMS que “Les Ministères de la Santé et de l'Agriculture ont demandé le soutien d'une mission commune de l'OMS, de la FAO et de l'OIE pour appuyer les efforts de riposte à la flambée”. Des enquêtes sérologiques plus complètes ont été menées par l'Institut Pasteur mais les résultats ne sont pas encore publiés. Il est à craindre que la maladie se soit propagée à l'ensemble du pays. Des études menées dans les îles voisines (Mayotte, Comores) ont aussi montré une circulation virale (Biteau-Coroller, 2008).

1.2.3- Rôle des marchés dans la transmission des pathologies animales

Le risque que les épizooties et les épidémies s'étendent à des zones auparavant indemnes existe. Cela s'est déjà produit dans le cas de la FVR lorsque des animaux infectés ont introduit le virus dans des zones où les vecteurs étaient présents. C'est notamment le cas en Egypte, dans les années 70, lorsque des animaux infectés ont été introduits depuis le Soudan où des cas de FVR avaient été reportés peu de temps avant (Abd el-Rahim et *al.*, 1999). En 2000, la découverte en Arabie Saoudite d'un VFVR de souche Kenyane, proche de celui des épidémies Kenyane de 1997-1998, implique une introduction du virus en Arabie Saoudite depuis la corne de l'Afrique par les ruminants (Shoemaker et *al.*, 2002).

Les animaux infectés par le VFVR excrétaient une grande quantité de virus (*i.e.*, comme pour beaucoup de maladies virales (*e.g.*, peste des petits ruminants, *etc.*)) les sécrétions et excréments (*e.g.*, jetage, placenta, salive, larmes, matières fécales, *etc.*) contaminent l'air ambiant par les fines gouttelettes de matières virulentes (Lefèvre, 2010). Ainsi la toux et les éternuements favorisent la formation de ces gouttelettes et l'infection par inhalation où la transmission rapide de la maladie lors des contacts étroits. Par ailleurs, les éléments communs (*e.g.*, abreuvoirs, mangeoires, litières, *etc.*) souillées par les matières virulentes représentent des sources de contamination. La proximité des animaux présents sur les marchés à bestiaux pourrait donc favoriser la dispersion de la maladie et les mouvements d'animaux favoriser ceux pour quoi ils ont souvent été mis en cause par le passé : la dissémination des pathologies animales (FAO, 2000) et donc leur distribution géographique. Ainsi, la commercialisation des animaux pourraient avoir un rôle important dans la dispersion de maladies et l'introduction de virus dans des zones indemnes.

2- Matériels et Méthodes

2.1- Analyse des réseaux sociaux (ARS ou SNA)

Depuis quelques années, l'analyse des réseaux sociaux est un outil de plus en plus utilisé dans l'identification des individus ou des lieux les plus à risques dans la dissémination des

pathologies animales et humaines (Leibler et *al.*, 2010 et Christley et *al.*, 2005) et aussi dans le contrôle des maladies zoonotiques virales émergentes (Ahmed et *al.*, 2009).

2.1.1- Définition de l'analyse des réseaux sociaux

C'est l'anthropologue britannique John A. Barnes (1954) qui utilisa la notion de « réseau social » (*social network*) pour la première fois (Mercklé, 2004). Dans le langage courant, cette notion désigne des ensembles d'individus et les relations qu'ils entretiennent les uns avec les autres.

L'analyse des réseaux sociaux définit les relations sociales en termes de liens et de nœuds. Les nœuds représentent habituellement les acteurs dans le réseau et les liens, les relations unissant ces acteurs. La méthode d'analyse des réseaux sociaux, empruntée à la sociologie, est basée sur la théorie des graphes qui permet de modéliser le réseau pour former une structure analysable où tous les liens (où absences de liens) entre les nœuds sont étudiés (Izquierdo et Hanneman, 2006). Les graphes peuvent être construits grâce à des matrices d'adjacences qui concentrent en ligne les origines et en colonne les destinations des animaux. La matrice est remplie de "0" puis de "1" pour les cas où un lien existe entre l'origine et la destination. Une fois le réseau social modélisé par un graphe, il est par exemple possible d'analyser l'efficacité⁴ du réseau pour les acteurs qui le composent. Autrement dit, un petit réseau, avec peu de nœuds et des liens serrés, peut être moins intéressant pour ses membres qu'un réseau ayant plusieurs liens faibles vers des individus hors du réseau principal. Alors qu'un réseau "ouvert", avec plusieurs liens faibles, est plus susceptible de donner accès à une quantité élevée d'informations. Le bénéfice individuel à être connecté à plusieurs réseaux est alors plus important que celui d'avoir plusieurs connexions avec un seul réseau social. Cela signifie que des individus peuvent exercer une influence ou être un point de "passage obligé" dans le réseau social en faisant un pont entre deux réseaux qui ne sont pas directement liés (*i.e.*, seul chemin du réseau pour accéder aux membres de l'autre réseau), permettant de combler un vide dans la structure du réseau. Par ailleurs, cette structure ne tient pas compte des normes et des "étiquettes" attribuées aux acteurs (*e.g.*, les jeunes, les femmes, les cadres, les pays en voie de développement, *etc.*) mais est le résultat de leur position dans le réseau. L'analyse des réseaux sociaux privilégie le réseau de contact au comportement individuel pour étudier la diffusion de l'information dans les groupes d'acteurs (Wasserman et Faust, 1994). La structure d'un réseau social peut être dynamique et donc se modifier indéfiniment au cours du temps. L'analyse des réseaux successifs permet dans ce cas d'étudier l'influence des changements de structures sur la propagation de l'information.

2.1.2- Utilisation en épidémiologie

En épidémiologie, cette méthode d'analyse a été utilisée pour la première fois pour des études sur les maladies sexuellement transmissibles. Une fois le réseau construit, l'analyse permet de dégager certaines caractéristiques de propagation d'une maladie (tous les acteurs seront-ils touchés par la maladie ? sa propagation sera de proche en proche ou par sauts ? *etc.*) (Perisse et Nery, 2007) et d'identifier les individus les plus à risque, ou jouant un rôle clés dans la transmission (*superspreaders*), les acteurs clés (Christley et *al.*, 2005).

De nombreuses études ont mis en évidence par des calculs statistiques le rôle des mouvements d'animaux et le comportement à risque de certains individus comme facteurs important dans la propagation de maladies. Ces risques étaient attribués aux comportements individuels. En général, les techniques épidémiologiques classiques s'intéressent au risque individuel d'être infecté par une maladie, mais pas à l'influence des contacts ou des liens d'un individu avec d'autres sur la diffusion de celle-ci.

⁴ C'est la qualité d'un rendement permettant de réaliser un objectif avec le minimum de moyens engagés. C'est un rapport coût-efficacité, lié à la réussite d'une activité.

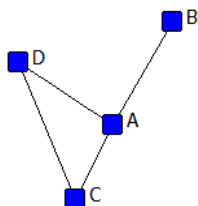
En 1985, l'analyse des réseaux sociaux a été employée pour étudier un foyer d'une Maladie Sexuellement Transmissible (MST), le SIDA, permettant d'apporter des arguments en faveur d'un agent infectieux comme étant à l'origine de la MST (Perisse et Nery, 2007).

Suite au succès de la méthode en santé humaine, le SNA a par la suite été utilisé en épidémiologie animale. En 2006, Webb a ainsi pu déterminer le rôle d'un concours agricole dans la transmission des maladies ovines. L'étude a notamment démontré qu'une maladie survenant tôt dans la saison avait plus de chance d'atteindre tous les participants du dit concours justifiant par la même occasion les « mesures sévères de biosécurité » mises en œuvres au Royaume-Uni.

Les mouvements d'animaux ont, a de nombreuses reprises, été étudiés pour estimer le risque d'épidémie d'une maladie donnée. Le SNA permet l'identification des nœuds les plus à risques (*e.g.*, ferme, marchés) et ainsi de donner des conseils pour une surveillance ciblée et le contrôle de la maladie (Kao et *al.*, 2006, Bigras-Poulin et *al.*, 2006 et Ortiz-Pelaez et *al.*, 2006).

2.1.3- Utilisation du SNA dans l'étude

La théorie des graphes sur laquelle est basée le SNA permet de calculer de nombreux indices et paramètres qui vont nous permettre de qualifier le réseau et de classer les nœuds qui le composent selon certains critères définis ci-après. Considérons un réseau dont les nœuds nommés A, B, C, D sont tels que :



Les paramètres les plus communs sont les suivants :

1) Les indices individuels :

Paramètres de distance sociale

Ils permettent de mettre en avant la relation entre un nœud et ses voisins mais aussi les connexions existant entre ces derniers (*i.e.*, les connexions indirectes du nœud étudié). Cela permet de savoir à quel point un nœud est éloigné des autres nœuds du réseau en calculant le nombre de liens qui le sépare des autres acteurs. C'est une distance sociale puisqu'elle représente un nombre d'acteurs séparant un nœud d'un autre (*e.g.*, distance géodésique, walk, cycle, path, *etc.*)

Par exemple, une **géodésique** est l'un des plus courts chemins entre deux nœuds donnés. Sur le réseau exemple, le plus court chemin entre les nœuds B et D passe par A (*i.e.*, BAD).

Paramètres de connectivité

Ces paramètres nous informent sur la « connexion » d'un nœud avec les autres, suivant les chemins disponibles et représentés par les liens. Autrement dit, ces paramètres nous indiquent si le nœud est plus ou moins lié aux autres. La valeur connexion ne tient pas compte de la distance du chemin emprunté c'est-à-dire du nombre de nœuds qu'il faut emprunter pour parvenir à destination. Un réseau est dit connexe ou connecté s'il existe un chemin entre toute paire de nœuds dans le réseau. Le terme de "composant" est utilisé pour désigner le plus grand ensemble de nœuds connectés (Wasserman et Faust, 1994). Un graphe est complet lorsqu'il existe un lien entre toute paire de nœuds (*e.g.*, accessibilité ou plus communément reachability, *etc.*).

2) Les indices à l'échelle du réseau :

Paramètres à l'échelle du réseau

Ils s'appliquent à l'ensemble des nœuds et liens composant le réseau et permettent notamment de se rendre compte de l'influence que peut avoir ce dernier sur la diffusion de maladies (Izquierdo et Hanneman, 2006). Par exemple :

- Le **diamètre** d'un graphe (*i.e.*, réseau) est le plus long chemin géodésique de ce graphe.

- La **densité** représente une proportion de liens présents dans le réseau considéré sur le nombre de liens possibles. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Elle mesure la connexion du réseau et permet alors de donner une indication sur la vitesse de diffusion d'une épidémie.

Paramètres de centralité

Ces paramètres indiquent le niveau d'importance de chaque nœud dans le réseau (*i.e.*, s'ils occupent une position centrale ou pas). Ils permettent donc de mesurer l'importance structurelle des nœuds dans le réseau. Ils sont très couramment utilisés en épidémiologie puisqu'ils permettent d'identifier les nœuds ayant le plus d'importance dans la transmission *i.e.*, ceux par qui la probabilité que la maladie passe est la plus grande. Autrement dit, les acteurs ou marchés clés (Thomas *et al.*, 1997) Ces indices sont le degré, la betweenness, la closeness, *etc.* Par exemple :

- Le **degré** d'un sommet (*i.e.*, d'un nœud) est le nombre de ses liens adjacents (Wasserman et Faust, 1994). Si le graphe est orienté, il faut faire la différence entre "*in-degree*" (*i.e.*, nombre de liens arrivant au nœud, faisant de ce dernier une destination) et "*out-degree*" (*i.e.*, nombre de liens partant du nœud qui est alors une origine). Le premier mesure le niveau de concentration du virus autour de l'acteur ou du lieu, alors que le second mesure son niveau d'excrétion. La distribution du degré permet, par ailleurs, de nous informer sur la structure globale du réseau et de le rapprocher d'un réseau théorique dont on connaît les propriétés. Plus le degré est élevé, plus l'acteur est central. Ce paramètre varie entre 0 (*i.e.*, nœud isolé) et N-1 (*i.e.*, pas de liens d'un nœud vers lui-même).

- **Betweenness** : ce terme désigne, pour un nœud donné, le fait d'être entre d'autres nœuds et donc de se situer sur le chemin qui les relie (*i.e.*, sorte d'intermédiaire obligatoire pour que deux nœuds soient liés). Si un nœud N1 se trouve sur le chemin reliant deux autres nœuds (*i.e.*, N2 et N3), c'est qu'il est un intermédiaire. On peut alors dire que N1 possède un certain contrôle sur la relation N2-N3. Un nœud aura donc une grande « betweenness » s'il se trouve de nombreuses fois sur le plus court chemin reliant deux autres nœuds.

- **Closeness** : ce terme désigne la distance moyenne entre un nœud et tous les autres. Pour le réseau exemple, les distances géodésiques de B aux autres nœuds sont les suivantes : BA:1, BC:2, BD:2. La « closeness » de B est donc de $(1+2+2)/3$. Plus cette valeur est élevée, plus l'acteur est périphérique.

Les données récoltées n'étant pas exhaustives, certains chemins et nœuds existant pourraient ne pas avoir été observés. Pour cela nous utiliserons ici plus particulièrement ces trois derniers paramètres afin d'éviter des conclusions hâtives prises sur les résultats partiels. Les autres paramètres dépendant fortement de la précision des données, l'étude demande un approfondissement afin d'affiner les analyses. Cela sera fait dans le cadre d'une thèse dès la rentrée scolaire 2010-2011.

2.2- Choix de la zone d'étude

En 2008 et 2009, les premiers foyers de FVR ont été observés dans une zone du district d'Anjozorobe (cf 1.2.2) et plus précisément dans la commune d'Ambongamarina (Figure 6). Cette commune se situe à environ 120 km d'Antananarivo, la capitale. Elle est assez difficile d'accès notamment en saison des pluies où les pistes qui doivent être empruntées pour la rejoindre se transforment en toboggan de boue. Les moyens de transport les plus communs à cette zone sont la charrette, tirée par une paire de zébus, le vélo où encore la marche. Actuellement, le projet RIFT-OI mène, dans cette commune, plusieurs études axées sur les vecteurs et/ou les réservoirs sauvages potentiels de la FVR, dans le but de comprendre et de modéliser le fonctionnement du cycle épidémiologique de la maladie pour pouvoir ensuite émettre des recommandations en terme de lutte et de prévention.

La réémergence de la maladie dans cette zone, où le climat n'est à priori pas favorable à une transmission continue du virus toute l'année et son maintien dans le milieu extérieur pendant les

périodes inter-épizootiques, nous a conduit à nous interroger sur le rôle des mouvements d'animaux dans l'éventuelle introduction ou le maintien du virus dans cette zone. Dans le but d'identifier les différentes origines possibles des bovins présents dans la commune, nous avons élargi la zone d'étude afin d'identifier tous les marchés de bétails en relation avec la première zone (*i.e.*, tous les marchés connectés à la commune Ambongamarina et donc le réseau de commercialisation qui y est rattaché). Madagascar étant une île très vaste et le temps qui nous était imparti étant limité, nous ne pouvions pas enquêter l'ensemble des marchés à bestiaux de Madagascar et avons donc dû borner nos déplacements au triangle des Hautes Terres (*i.e.*, triangle Majunga - Fenerive Est – Fianarantsoa (Figure 6)). Cette zone étant déjà très grande (*i.e.*, un tiers de l'île), seuls les marchés faisant partie de cette zone ont été enquêtés. Les autres marchés, en relation avec la zone d'étude (*i.e.*, la commune Ambongamatina) mais hors de la zone d'enquêtes n'ont pas été visités. Ils font tout de même partie du réseau de commercialisation et peuvent aussi être qualifiés d'origine.

2.3- Collecte des données

2.3.1- La base de données source

Dans le cadre du projet Rift-OI, en 2009, une équipe Cirad/FOFIFA a effectué 378 enquêtes typologiques auprès des éleveurs de la commune d'Ambongamarina. Celles-ci ont permis de rassembler un nombre important d'informations notamment sur les pratiques commerciales et d'élevage des habitants des différents villages constituant les fokontany de la commune (les questions concernées la période 2007 à 2009) mais aussi sur la typologie (*i.e.*, distance à la forêt, distance au point d'eau, *etc.*) de chacun de ces élevages (annexe 2). La totalité de ces informations a été saisie dans une base de données Access. Ce sont donc 378 éleveurs répartis sur 7 Fokontany pour un total de 47 villages qui sont enregistrés dans cette base de données. Cette dernière servira de point de départ à la présente étude.

Par ailleurs, des enquêtes sérologiques ont été réalisées dans la même zone et sur les élevages des habitants (éleveurs) enquêtés lors de la précédente campagne. Au total ce sont 899 prélèvements qui ont été réalisés et analysés. Les résultats sérologiques associés à chaque bovin prélevé ont été rentrés dans la base de données précédente. Ces informations seront utilisées afin de confronter les mouvements d'animaux à l'état sanitaire des animaux de la commune.

2.3.2-Les enquêtes

2.3.2.1- Questionnaire d'enquêtes

Afin de construire le réseau de commercialisation des ruminants des Hautes Terres malgaches, nous avons dû créer un nouveau questionnaire, différent de celui utilisé lors des enquêtes de 2009 car ce dernier était trop long et collectait des données inutiles pour notre étude. Ce nouveau questionnaire cherchait à déterminer les origines et les destinations des animaux présents sur le site d'enquête (annexe 3). Il a ensuite été testé sur deux marchés et auprès des collecteurs de ruminants (*i.e.*, ovins, caprins, bovins) aux alentours d'Antananarivo afin de s'assurer que les réponses que nous obtenions contenaient bien toutes les informations que nous recherchions et qu'il nous était possible de les traiter par la suite (*i.e.*, des données standardisées).

Une fois le questionnaire validé, nous sommes retournés dans la commune enquêtée en 2008 et 2009 afin de réaliser nous mêmes quelques enquêtes dans les villages des fokontany de la base. Les villages enquêtés ont été choisis pour leur forte tendance au commerce mais aussi et surtout pour le niveau de coopération des éleveurs. Ceci nous a permis de nous familiariser avec la zone mais aussi de valider l'exactitude des données présentées par la base de données en notre possession. Ces données ont aussi pu être validées par la consultation des carnets d'éleveurs détenus par le maire de la commune et qui contiennent toutes les informations de mouvements d'animaux sur les 5 dernières années. La récupération de ces informations pour les joindre à celles de la base

étant cependant impossible dans le temps imparti, le fait qu'elles corroborent les données de la base nous a semblé suffisant.

2.3.2.2- *Echantillonnage boule de neige*

Cette méthode est définie par Poupart et *al.*, en 1997. « Grâce à un premier informateur ou une personne ressource, le chercheur trouve l'accès au prochain, procédant ainsi par contacts successifs ». Les premiers acteurs interviewés (*i.e.*, éleveurs dans notre étude) identifient d'autres acteurs avec lesquels ils ont des liens particuliers (*e.g.*, achats, ventes d'animaux, *etc.*), constituant la zone de « premier ordre » du réseau. Les acteurs ainsi désignés sont à leur tour interrogés, ce qui permet d'obtenir alors la zone de « deuxième ordre ». Les enquêtes se poursuivent ensuite zone par zone (Wasserman et Faust, 1994). Les lieux ne sont sélectionnés pour enquêtes que s'ils font partie de la zone d'étude définie plus tôt.

Dans la présente étude, après s'être assurés que la base de données initiale contenait des données exactes, nous avons pu identifier les marchés d'approvisionnement des éleveurs de la Commune et qui constituent la zone de premier ordre. C'est en se rendant sur ces marchés, afin d'y enquêter, que nous avons pu accéder aux marchés suivants. Les enquêtes de ces marchés et des suivants nous ont permis, peu à peu, de remonter le chemin du réseau de commercialisation des bovins associé à la commune d'Ambongamarina. Les données utilisées lors de l'analyse de réseau englobent les données de la base ainsi que celles obtenues lors des enquêtes sur les marchés.

Cette méthode d'échantillonnage est couramment utilisée dans la construction des réseaux. Elle se montre très utile dans les cas où l'accès aux données est difficile ou si les données recherchées sont "cachées". Poupart et *al.*, (1997) insiste cependant sur le fait qu'il est important de revenir, a posteriori, sur la portée et les limites de l'échantillon et son adéquation avec les objets de l'étude.

2.3.2.3- *Nos enquêtes*

Une fois les marchés de premier ordre identifiés (*i.e.*, par la base de données mais aussi par les enquêtes ayant servi à confirmer les informations), nous sommes allés y enquêter afin de remonter aux marchés suivants. Un des points problématiques de la méthode utilisée étant la croissance exponentielle du nombre de marchés qui peuvent être identifiés au fur et à mesure des enquêtes, nous avons dû limiter nos enquêtes et avons choisi d'enquêter préférentiellement les marchés d'ordre faible (*i.e.*, les plus proches de la commune) puis ceux faisant partie des voies de commercialisation les plus empruntées. Sur ces marchés, nous avons enquêté aléatoirement les personnes présentes (*i.e.*, éleveurs, collecteurs). Cependant, quelques points nous ont rendus le travail d'enquêtes très difficile, nous limitant dans le nombre d'enquêtes réalisables par marché :

- La réticence de certains acteurs, présents sur les marchés, à répondre de leurs activités commerciales nous a obligé à justifier nos enquêtes et expliquer la nature "confidentielle" des informations qui nous étaient confiées. Nous étions contraints de répondre à de nombreuses questions des éleveurs et collecteurs afin d'apaiser leurs craintes et ainsi obtenir des réponses à nos questions.

- La forte sollicitation des collecteurs par les acheteurs (*e.g.*, collecteurs, éleveurs, bouchers) nous a contraint à attendre la fin des négociations entre les deux parties afin de finir l'enquête. La durée de celle-ci étant parfois fortement rallongée. Abandonner l'enquête pour en commencer une autre a été envisagé, mais tous les collecteurs fonctionnant de la même manière, changer d'individus ne garantissait pas un plus grand nombre d'enquêtes.

- Enfin, la durée limitée des marchés (*i.e.*, généralement 4 à 5 heures avec des horaires variables. La plupart du temps le marché se déroule le matin en même temps que le marché du village). Cependant sur certains marchés les acteurs veulent être certains que les officiels sont

d'accord avec nos enquêtes et qu'ils ont bien le droit de nous répondre. Cela nous a obligé à attendre l'arrivée des dites personnes (*i.e.*, maires, délégués, *etc.* qui sont rarement présents avant 10h) sur le marché avant de commencer les enquêtes en leur compagnie. En opposition, sur d'autres marchés la présence de ces personnes à nos côtés s'est révélé être un frein dans l'obtention des informations (*i.e.*, en leur présence les acteurs refusent de répondre). Il nous a donc fallu nous accommoder et effectuer les enquêtes en fonction des préférences des acteurs (*i.e.*, présence ou absence des officiels lors des enquêtes) afin de faciliter l'acquisition des informations.

2.4- Les outils : R, Microsoft Access...

Logiciel R stat : Nous avons choisi d'utiliser le logiciel R (*i.e.*, la dernière version du logiciel R.2.10.1) pour l'ensemble des traitements de données concernant les statistiques et l'analyse du réseau. D'autres logiciels plus "confortables" existent mais cela nécessite des transformations des données à chaque changement de logiciel pouvant introduire des erreurs facilement évitables. De plus le logiciel R permet de traiter l'ensemble des données du réseau social tout en effectuant des analyses statistiques classiques grâce à ses nombreux outils (Butts, 2008 et Handcock et *al.*, 2008).

Access : L'ensemble des données collectées a été organisé et stocké dans une base de données access créée à cet effet. Elle reprend l'ensemble des informations de mouvements (*i.e.*, origine, destinations, échanges, divagations, position GPS, *etc.*) mais aussi de prix, de périodes d'achats et de ventes maximum et minimum, *etc.*

C'est à partir de cette base de données que les matrices d'adjacences nécessaires à la construction du réseau social ont pu être créées. Des logiciels spécialisés (*e.g.*, Ucinet, R, *etc.*) permettent leur interprétation et représentation graphique.

Les matrices : Les données, extraites d'Access sous forme de liste, sont importées dans le logiciel d'analyse (*i.e.*, dans notre cas ce sera le logiciel R). Les informations sont codées afin de les observer sous forme de réseau.

Logiciel SIG : Les représentations spatiales sont réalisées avec un logiciel SIG (*i.e.*, ArcGis 9.3).

Pour le réseau de la zone d'enquête (*i.e.*, triangle des Hautes Terres), les nœuds seront les marchés ou plus précisément les villages dans lesquels se situent les marchés et les liens, les mouvements de bovins liés à l'activité commerciale. Le lien représentera le chemin emprunté par les éleveurs et collecteurs entre deux villages. Du fait du faible taux d'échantillonnage sur les marchés (*i.e.*, environ 10 enquêtes par marchés quel que soit le nombre d'acteurs. Généralement une quarantaine au minimum), nous n'attribuerons pas de valeur aux liens de manière à ne pas "biaiser" les résultats pouvant être obtenus en sous estimant les flux.

Pour les réseaux à l'échelle de la commune (*i.e.*, zone d'étude), les nœuds représentent les villages enquêtés. Chaque lien partant d'un nœud correspond à un chemin emprunté par un ou des éleveurs enquêtés dans le village en question. Nous avons choisi de scinder l'analyse en plusieurs réseaux du fait de l'importance que semble avoir les échanges d'animaux dans cette commune. Le premier réseau représente les échanges non commerciaux de bovins, spécifiquement nommés "kapsile" dans cette partie de Madagascar. Le deuxième réseau représente les achats et ventes de bovins. Enfin, le troisième réseau englobe l'ensemble des mouvements (*i.e.*, échanges, achats et ventes). Il est à noter que ces 3 réseaux ne concernent que les mouvements à l'intérieur de la commune. Les échanges avec l'extérieur étant pris en compte dans le réseau à l'échelle de la zone d'enquêtes.

3- Résultats

3.1- Les marchés

3.1.1- Les marchés enquêtés

Sur une période de 4 mois, 66 enquêtes ont été réalisées dans la commune d'Ambongamarina (afin de déterminer si les données de la base étaient correctes) et 219 enquêtes sur une totalité de 18 marchés. Ces dernières enquêtes ont permis de mettre en évidence un réseau de commercialisation comprenant 68 marchés (annexe 4) et 3 zones d'élevages d'où proviennent l'ensemble des bovins circulant sur le réseau (*i.e.*, Le Nord-ouest, le Sud et le centre des Hautes Terres. Pour plus d'information cf. 3.3.3). Parmi ces 68 marchés, en relation avec la zone d'étude (*i.e.*, commune d'Ambongamarina), 33 sont dans le triangle des Hautes Terres (*i.e.*, zone d'enquêtes). Les marchés faisant partie de la zone d'enquêtes qui n'ont pas été visités, ne l'ont pas été pour trois raisons. Ces marchés sont (i) uniquement des destinations et n'ont pas d'intérêt dans notre recherche des origines des bovins arrivant dans la commune d'Ambongamarina (*i.e.*, zone d'étude), (ii) sont à la limite des "frontières" de la zone d'enquête, ou (iii) ont lieu les mêmes jours que des marchés plus importants en terme de fréquentation (*i.e.*, cités plus souvent comme origine par les enquêtés) et de réseau social (*i.e.*, marchés moins périphériques ou plus proches de la commune en terme de distance dans le réseau et qui sont donc des chemins plus probables). Pour ces raisons, nous avons choisi de mettre ces marchés de côté afin d'être enquêtés plus tard. Pour des raisons liées à la crise politique actuelle et à la courte durée du stage, nous n'avons pas pu revenir par la suite pour enquêter ces marchés. Nous avons pu constater que les marchés d'une même région sont étroitement liés entre eux et ne permettent pas tous de joindre un marché d'une autre région. De plus, les Délégués aux Maires des communes de chaque marché ont été enquêtés afin de profiter de leur vision plus globale du commerce dû à leur statut (*i.e.*, ils s'occupent des papiers officiels en relation avec les transactions commerciales et ont donc sous les yeux les certificats de ventes et d'origine de chaque bovin vendu sur leur marché). Ces enquêtes nous ont permis de mieux identifier les marchés ne permettant pas de rejoindre d'autres marchés, dans d'autres régions. Ce sont donc ces marchés qui ont été préférentiellement mis de côté. Au total, 18 marchés ont été enquêtés ainsi que leurs responsables (*i.e.*, maire, délégué, vétérinaire, secrétaire, *etc.*).

3.1.2- Les circuits de collecte

La commercialisation des bovins est pour certains un véritable métier. Parmi les 219 personnes enquêtées, 55% se sont dit collecteurs, 43% éleveurs et 2% bouchers. Par ailleurs, parmi les éleveurs, 61% nous ont révélés acheter des animaux pour les travaux de l'exploitation, 32% pour les revendre par la suite, 6% pour les manger (*e.g.*, fêtes, *etc.*) et seulement 2% pour épargner (Figure 8).

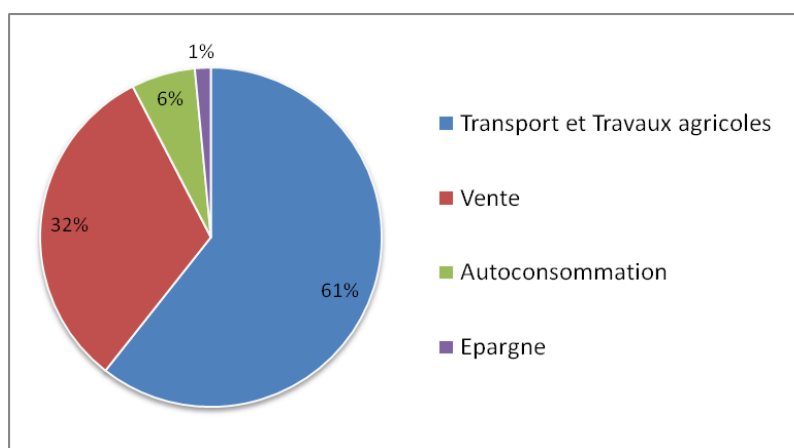


Figure 8: Utilisation des bovins achetés par les éleveurs

Les proportions d'éleveurs et de collecteurs pour chacun des marchés enquêtés sont présentées en annexe 4. Les personnes, nommées "collecteur" (*i.e.*, qui ont le titre officiel avec des documents certifiés ou non) pratiquent des circuits de commercialisation et empruntent les mêmes routes chaque semaine, pouvant ainsi participer à plusieurs marchés par semaine. Certains de ces collecteurs peuvent aller jusqu'à 1 marché par jour (sauf le dimanche puisqu'il n'y a aucun marché le dimanche dans tout Madagascar), toutes les semaines et toute l'année. Ils achètent sur un marché puis circulent sur d'autres en formant un circuit jusqu'à la vente totale des animaux achetés sur le premier marché. Les animaux peuvent ainsi revenir sur le marché de départ puisque les circuits forment des boucles. Lors des enquêtes nous avons rencontré très régulièrement ces mêmes collecteurs. Ceci nous a permis de dégager les circuits de commercialisation et la fréquence des présences de ces personnes sur les marchés du circuit.

3.1.3- Importance des marchés

Les différents types de marchés :

Parmi l'ensemble des marchés rencontrés (*i.e.*, visités ou non), il nous faut en distinguer plusieurs catégories en fonction de leur taille, de leur réputation, de l'accessibilité ou encore des races de bovins qui peuvent y être trouvées.

Certains marchés ne comportent que peu de bovins toutes les semaines (Figure 9) et sont pourtant très appréciés par les éleveurs et collecteurs. Par exemple, les marchés d'Ambatomena et Antanandava sont des marchés de premier ordre (*i.e.*, marchés directement reliés à la commune Ambongamarina), pourtant ils sont très petits et ne dépassent jamais les 70 bovins par jour de marché. Nous avons constaté que le marché d'Ambatomena est très riche en races croisées alors que celui d'Antanandava comporte uniquement des races locales arrivant directement de zones d'élevages du Nord de l'île (*i.e.*, district de Tsaratanana au pied des Hautes Terres).

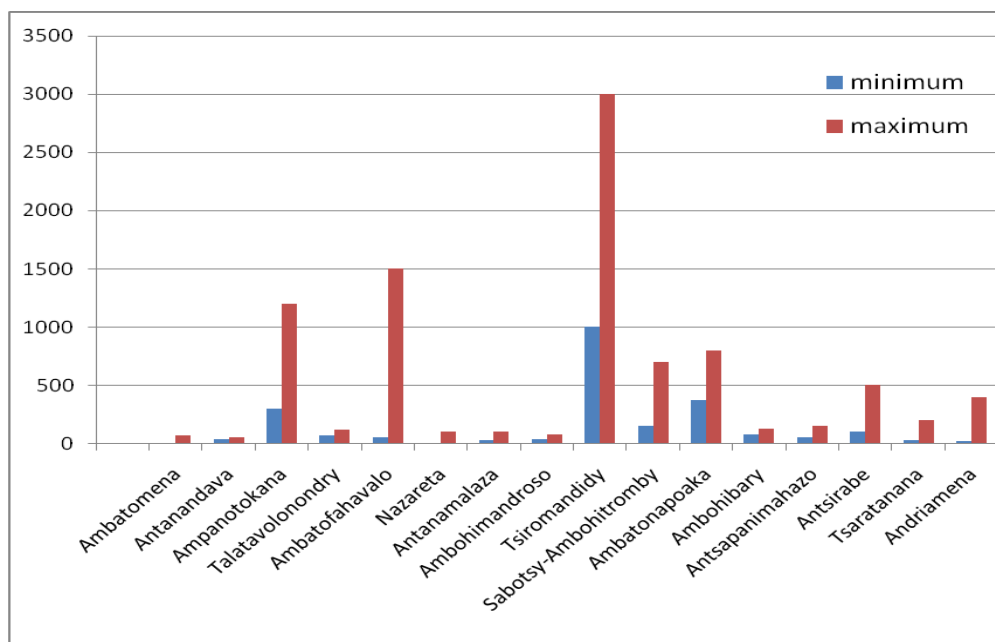


Figure 9: Nombre d'animaux présent par jour de marché

De même, le marché d'Antanamalaza nous a souvent été cité, alors qu'il ne compte en moyenne qu'une trentaine de bovins par jour de marché et de très rares collecteurs, qui sont les seuls à posséder des bovins de races locales. En opposition, le marché de Tsiromandidy n'a été découvert que tardivement et est en contact avec un petit nombre d'autres marchés. C'est pourtant une zone d'arrivage de bovins pour les élevages du Nord-ouest (*i.e.*, on y rencontre très facilement

entre 1000 à 3000 bovins par marché suivant les périodes) et le plus grand marché de toute l'île. Il se déroule sur 4 jours en 2 sites différents⁵.

D'autres marchés sont relativement petits mais peuvent dépasser le millier de bovins par jour à des périodes fixes (*e.g.*, Ampanotokana, Ambatofahavalo). Ces marchés sont des zones d'arrivages pour des régions éloignées et les collecteurs qui s'y rendent arrivent en même temps (*i.e.*, souvent le dernier jour de marché du mois) faisant ainsi exploser la quantité de bovins qui peut y être observée.

Rôle dans la filière de commercialisation :

L'ordre (*i.e.*, en termes de SNA) auquel se trouve le marché à son importance. Celui-ci et l'éloignement à la zone de départ sont proportionnels. Plus l'ordre est grand, plus le chemin menant à la zone d'étude est long. Il y aura donc plus de marchés à traverser avant de pouvoir arriver à destination et plus de chance d'emprunter de mauvais chemins (*i.e.*, ne conduisant pas à la zone d'étude). Un marché qualifié de 2^o ordre aura plus de chance de fournir des animaux qui arriveront jusqu'à la commune qu'un marché de 5^o ordre. Ceci est dû aux nombres d'intermédiaires. Les marchés ayant des ordres faibles ont donc plus d'influence sur la zone d'étude.

Beaucoup d'éleveurs rencontrés au cours des enquêtes nous ont expliqué préférer se rendre sur un marché plutôt que dans un élevage, pour le renouvellement des gènes, le choix des animaux (*i.e.*, de différentes catégories : veaux, génisses, taureaux, *etc.*) mais aussi l'éventail des prix. Pourtant, l'éloignement de ces marchés au domicile de l'éleveur ne leur permet pas toujours de s'y rendre. Ils nous ont expliqué que devoir parcourir de nombreux kilomètres afin de se rendre sur le marché de bovins et ne pas travailler pendant quelques jours afin de pouvoir s'y rendre peut être un frein à l'achat sur un marché. Ceux de proximité, même s'ils sont très petits (*i.e.*, 30 à 50 bovins par jour de marché) sont donc privilégiés par les éleveurs pour le gain de temps. Seul le choix de la race peut mener un éleveur à se rendre sur un marché plus éloigné (*i.e.*, seuls 10 marchés sur les 41 pour lesquels nous avons pu obtenir l'information, proposent des bovins de races croisées, détails en annexe 5). Lors de nos enquêtes, tous les éleveurs rencontrés et interviewés nous ont révélé habiter dans le district auquel appartient le marché sur lequel nous les avons rencontré. De plus, même si l'information n'a pas pu être obtenue pour tous, les éleveurs ayant répondu habitaient tous à moins de 4h de marche du marché enquêté (*e.g.*, villages de la commune ou d'une commune très proche).

3.2- La filière bovine du triangle des Hautes Terres malgaches

3.3.1- Les acteurs

Il s'agit ici d'une filière de commercialisation classique où peuvent être rencontrés Éleveurs, Collecteurs et Acheteurs (*i.e.*, bouchers, éleveurs, consommateurs). Cette commercialisation des bovidés a cours toute l'année avec des périodes où la commercialisation s'intensifie (cf. 3.3.4).

⁵ Le 1^o site (les 2 premiers jours) réservé aux collecteurs qui arrivent en avance (*i.e.*, arrivant des zones d'élevage, ils ont de très grande distance à parcourir. Leur arrivée s'étale donc sur plusieurs jours) leur permet de s'installer et d'attendre que le "vrai marché" commence. Les transactions peuvent tout de même se faire mais aucun éleveur n'est présent. Les acheteurs sont dans la grande majorité des bouchers de la capitale qui viennent acheter les bovins pour les conduire en camions jusqu'aux abattoirs ou marchés d'Antananarivo. Les ventes entre collecteurs et bouchers, ou autres collecteurs, concernent très souvent de grands troupeaux (*i.e.*, environ 200 bovins et plus). En attendant que ceux-ci soient chargés dans les camions, de grands enclos leurs sont réservés et des pâturages aux alentours sont prévus pour faire patienter les bovins et les nourrir. Sur le "vrai marché", les éleveurs peuvent vendre et acheter des bovins à d'autres éleveurs ou collecteurs faisant partie de patente (Terme qui désigne le regroupement de personnes autour d'une autre personne ayant des documents officiels lui conférant le titre de collecteur. Tous les animaux sont alors regroupés et sont au nom du chef de la patente mais appartiennent en réalité à ses membres. Cette association est souvent une manière d'améliorer la sécurité et de partager les frais relatif à la conduite du troupeau).

Les éleveurs se présentent sur les marchés en qualité de vendeurs et/ou acheteurs. Par période et en fonction de leurs besoins, certains peuvent aussi prendre le rôle de collecteurs pendant quelques jours voire semaines. Bien souvent, c'est par besoin d'argent que les éleveurs viennent vendre sur les marchés mais aussi pour changer un animal trop vieux pour le travail (*i.e.*, ils le vendent dans l'optique d'en acheter un plus jeune).

Les collecteurs peuvent être reconnus par les autorités et posséder un titre officiel de collecteur (*i.e.*, "collecteur vrai"). Ces personnes sont alors, des points de ralliement pour d'autres personnes, ce qui forme des patentes. Ce terme désigne un groupe de collecteurs non officiels qui se regroupent autour d'un collecteur vrai. Ils peuvent aussi être de simples éleveurs qui une ou plusieurs fois par an (*e.g.*, certains peuvent le faire 1 fois/mois d'autres toute les semaines) vont acheter des animaux dans le but unique de les vendre. Dans cette étude, le terme de collecteur sera attribué à toute personne achetant des animaux à un endroit, dans le but de les revendre (*i.e.*, sur un marché, dans un élevage ou les deux). Des patentes ont pu être rencontrées sur les marchés de Tsiromandidy et Ambatonapoaka (*i.e.*, respectivement, 4 patentes regroupant au total 91 personnes soit environ 2000 bovins, et 1 association d'éleveurs) mais en aucun cas sur les autres marchés.

Les bouchers sont présents sur la plupart des marchés. Autour d'Antananarivo, certains marchés sont plus réputés que d'autres. C'est notamment le cas des marchés d'Ampanotokana et d'Ambatonapoaka où arrivent des bovins en provenance directe de celui de Tsiromandidy (*i.e.*, marché d'arrivage des bovins des élevages du Nord-ouest). Sur ces marchés ce sont des troupeaux allant jusqu'à 200 bovins qui arrivent à destination des boucheries de la capitale. Les bouchers d'Antananarivo et des villes alentours viennent donc y acheter directement les bovins.

Il peut arriver que les consommateurs viennent acheter un animal directement sur un marché même si cela reste anecdotique vis-à-vis des autres acteurs. Cela arrive bien souvent à l'approche de fêtes (*i.e.*, qu'elles soient nationales, religieuses ou familiales).

3.3.2- Le transport

Il se fait toujours en camion ou à pied. Les trajets reliant deux destinations peuvent durer des semaines. Le plus souvent, les éleveurs et collecteurs favorisent le transport à pied. Ceci s'explique par la différence de coût, les frais étant moins importants lors de déplacements à pieds (*i.e.*, nourriture des bergers) qu'avec des camions (*i.e.*, argent à avancer avant la vente des bovins, location des camions, essence au même tarif qu'en France malgré la forte différence du niveau de vie, chauffeurs, bergers, *etc.*), mais aussi par la difficulté des déplacements en véhicule sur l'île. Seules deux routes goudronnées existent à Madagascar. La première parcourt l'île du nord au sud, l'autre d'est en ouest. Ces deux routes se croisent à Antananarivo et sont aussi entrecoupées de zones de pistes. Il n'est donc pas toujours possible d'effectuer le trajet en camion et la marche est alors la seule solution.

Des transports de bovins par camion ont pu être observé sur seulement 3 des 18 marchés enquêtés (*i.e.*, Ampanotokana, Tsiromandidy, Ambatonapoaka). Parmi ces 3 marchés, seul celui d'Ampanotokana emploie des camions régulièrement pour amener les bovins sur place depuis les marchés de la zone d'élevage (qui est ici celle du sud). Le marché de Tsiromandidy utilise les camions pour conduire les bovins, qui sont arrivés sur le marché à pied, vers les abattoirs de la capitale. Enfin sur le marché d'Ambatonapoaka, situé proche d'Antananarivo, la capitale, les camions ne sont présents que rarement et arrivent presque toujours du marché de Tsiromandidy. Les bovins qui en descendent sont destinés aux abattoirs de la capitale.

Lors des transports en camions, les bovins sont parqués dans des enclos et montent un à un via un couloir de contention. Chaque animal est attaché par la queue et/ou les cornes à la structure métallique du camion, afin d'éviter que l'un des animaux ne se couche et soit piétiné par les autres. Sur les marchés où nous avons pu observer des arrivages de bovins par camions, nous avons pu constater que les animaux qui en descendent sont très souvent en mauvais état. Des blessures encore

sanguinolentes sont souvent présentes (Figure 10 A). Cependant, les bovins effectuant les trajets à pieds sont très souvent exténués par le voyage et maigres (*e.g.*, dans le cas où le trajet est très long et où les bovins arrivent des zones d'élevages du Nord ou du Sud) (Figure 10 B). Les deux moyens de transport ont donc leurs inconvénients.

A. Animal affaibli par le trajet à pied.



B. Animal marqué et blessé lors du transport en camion (croûte arrachée).



Figure 10: Etat des animaux arrivant à pied (A) ou par camion (B) sur les marchés

3.3.3- Origine des bovins

Nos visites sur les divers marchés de la zone d'enquête auront permis de constater l'extrême richesse de ce réseau de commercialisation, aussi bien en termes de flux qu'en diversité de types de marchés. Cependant, nous avons pu remarquer que malgré la richesse de ces flux dans le réseau, certaines zones bien précises se dégagent comme étant les origines de l'ensemble des bovins présents dans la zone d'enquête. Nous avons ainsi pu déterminer trois origines comme étant des zones d'élevages distinctes. Deux de ces zones (*i.e.*, le Nord-ouest et le Sud de Madagascar) fournissent uniquement des bovins de races locales (*i.e.*, zébus) alors que la troisième (*i.e.*, le centre des Hautes Terres notamment la région Vakinankaratra et le district de Manjakandrina) fournit des bovins de races croisées. Souvent les femelles de races croisées sont appelées bovins laitiers car elles sont beaucoup plus performantes en termes de production laitière et d'adaptation au climat de la zone des Hautes Terres que les zébus.

3.3.4- Les périodes les plus à risques (flux maximum)

Même si les collecteurs effectuent les mêmes trajets toute l'année, les quantités de bovins qui les accompagnent peuvent varier au cours de celle-ci (Figure 11 ci-après), certaines périodes étant plus propices au commerce (*i.e.*, période de travail agricole, de fêtes, *etc.* Les périodes de présences maximales sont aussi les périodes de ventes maximales). Nous avons pu remarquer que ces périodes pouvaient légèrement différer selon les régions. Classiquement, les périodes de vente ou d'achat maximum sont corrélées aux périodes de prix maximum. C'est la loi de l'offre et de la demande. Cependant, les éleveurs les plus pauvres choisissent bien souvent d'effectuer leurs changements de bovins (*e.g.*, achat d'un animal jeune afin de remplacer un très vieux qui aura été vendu à un boucher) lorsque les prix sont au plus bas et donc lorsqu'il y a moins de bovins et de choix sur les marchés. Pour ces raisons, les flux commerciaux sont donc maintenus tout au long de l'année.

Il ressort des enquêtes que c'est entre les mois de novembre et février que la présence des bovins sur les marchés est minimale, alors qu'entre les mois de mars et octobre l'activité commerciale s'intensifie. Elle devient maximale en mai et juillet. Cette période d'activité correspond aussi à la période de saison sèche où le travail des éleveurs s'accroît avec notamment la préparation des terres aux nouveaux semis.

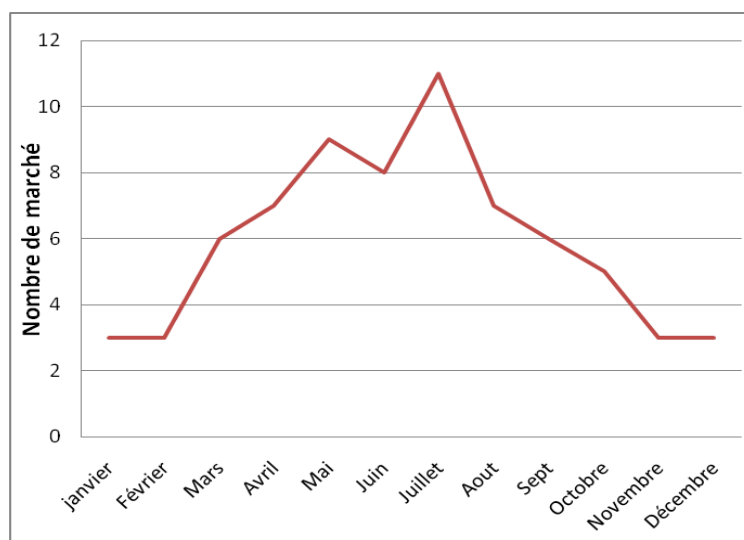


Figure 11: Période de présence maximale des bovins sur les marchés en nombre de marchés concernés © d'après les registres des communes enquêtées

3.3.5- Biosécurité

Elevages :

Au sein de la commune, les enquêtes (*i.e.*, d'après la base de données et nos enquêtes) ont révélé que les éleveurs ne pratiquent pas de quarantaine lorsqu'ils ramènent un nouvel animal dans l'exploitation. Cependant, la majorité des éleveurs (*i.e.*, 127 sur 228 ayant répondu soit 56%) donnent un traitement contre une ou plusieurs maladies récurrentes dans la commune (*e.g.*, fascioloses, charbons, *etc.*). Nous n'avons pas pu déterminer si ce traitement était ponctuel (*i.e.*, quand ils en ont les moyens) ou régulier (*i.e.*, doses et périodes de traitements suivis). Dans l'ensemble, à Madagascar les éleveurs ont encore de grandes difficultés avec les traitements vétérinaires qu'ils jugent bien souvent inutiles. Suivant les régions que nous avons traversées, les causes en sont différentes. Certains n'en ont pas les moyens, d'autres respectent encore les fady⁶ et/ou les enseignements de leurs ancêtres, d'autres encore peuvent ne pas s'en soucier.

Marchés :

Le vétérinaire effectue, tous les jours de marchés, un contrôle des papiers des bovins (*e.g.*, vaccins, passeport, *etc.*) avant d'autoriser leur mise en vente, mais aucun contrôle de l'état de l'animal n'est effectué au niveau du marché. Les animaux malades peuvent donc pénétrer sur le marché et entrer en contact avec d'autres, sans conditions supplémentaires.

Les bovins invendus des collecteurs restent au pâturage jusqu'à la semaine suivante (*i.e.*, jour de marché suivant) pendant que celui-ci retourne sur le marché d'approvisionnement acheter de nouveaux bovins. Lorsque les collecteurs parcourent un circuit de collecte, à la fin du marché, les bovins partent à pied vers le marché suivant. Pour les éleveurs, les animaux retournent au domicile de l'éleveur sans aucune quarantaine ou traitement particulier.

Abattoirs :

Les abattoirs au sens strict sont assez rares à Madagascar. Ils sont le plus souvent appelés "tuerie". Lorsqu'un lieu est réservé à cet effet, il s'agit d'un simple abri ouvert sur l'extérieur (Figure 12 et 13). Dans d'autre cas, le bovin est simplement ligoté et tué au sol, sur la terre (*e.g.*, lors d'abattage au sein de l'exploitation d'un éleveur). Des contrôles sanitaires des carcasses peuvent avoir lieu en fonction de l'acheteur. Très souvent cela n'est pas réalisé.

⁶ "Tabou" ou "interdit". Il s'agit de tradition ancestrale dictant ce qu'il convient de faire ou ne pas faire si l'on veut tenir le malheur loin de sa famille



Figure 12: Tuerie privée d'un collecteur de petits ruminants proche d'Antananarive



Figure 13: Abattoir de Tsiromandidy

Dans les abattoirs plus stricts (*e.g.*, abattoirs de la capitale, Tsiromandidy, *etc.*) , les contrôles des carcasses sont effectués pour les maladies à risques pour l'homme mais pas pour toutes les pathologies parasitaires (*e.g.*, des paremphistomes et oesophagostomes ont été observés sur les bovins à l'abattoir de Tsiromandidy sans rejet des organes pour la consommation).

3.3- Les filières ovines et caprines à Madagascar

Il est difficile de parler de filière ovine et caprine à Madagascar. Ces espèces ne sont pas très présentes sur l'île sauf dans le grand Sud malgache (*i.e.*, zone aride) où se situent les grands élevages de type sahélien (*i.e.*, bovin, ovin et caprin). Ce sont des animaux qui ne font pas partie des habitudes alimentaires du pays et qui sont consommés pour la grande majorité par la communauté musulmane de l'île (les ventes étant maximales à l'approche des périodes de fêtes musulmanes).

Les animaux arrivent en camion, depuis la zone d'élevage du sud jusqu'à la capitale. Ils sont accueillis à Tananarive (*i.e.*, la capitale) par des collecteurs ou grossistes qui s'occupent de vendre directement les animaux aux consommateurs et aux grandes surfaces. Ces animaux ne restent pas très longtemps en vie dans la zone des Hautes Terres et l'élevage y est difficile. Il ne s'agit que d'une zone de transition entre la zone d'élevage et l'assiette du consommateur. Cette "absence d'élevage" dans la zone d'étude (*i.e.*, triangle des Hautes Terres) s'explique par l'inadaptation des

ovins et caprins de Madagascar pour le climat relativement froid de la zone. En dehors du grand Sud, si l'on veut acheter un ovin ou un caprin à Madagascar il est donc nécessaire de s'adresser à un grossiste (*i.e.*, autour de Tananarive) ou d'affréter un camion en direction des élevages du Sud (au prix actuel de l'essence ceci revient très cher et n'est donc pas accessible à la plupart des malgaches).

Dans la commune d'Ambongamarina, un seul élevage a été rencontré, dans le village d'Antanifotsy. Au départ, l'éleveur a acheté 30 animaux qui sont arrivés du Sud de l'île en camion. Par la suite, il a subi de nombreuses pertes. Lors de notre enquête, 22 animaux étaient présents, les pertes ayant été compensées par des naissances (plus d'un tiers des animaux du cheptel petits ruminants étaient des jeunes animaux encore allaités). Lors des enquêtes dans la zone d'enquête, plusieurs petits troupeaux ont pu être observés. Pour la plupart, ces animaux étaient accompagnés des bovins. Ces troupeaux ont été observés dans des zones de plus basse altitude et où le climat était plus chaud, même si nous nous trouvons toujours sur les Hautes Terres.

3.4- Le réseau de commercialisation: flux de bovins

3.4.1- Les réseaux de commercialisation de bovins au sein de la Commune Ambongamarina

3.4.1.1- Les réseaux d'échanges et d'achats/ventes

Lors des enquêtes au sein de la commune Ambongamarina, il nous est apparu que chaque village de chaque fokontany pouvait potentiellement pratiquer l'échange d'animaux (*i.e.*, *kapsile*) en fonction de ses besoins et des opportunités. Les résultats de la base de données indiquent qu'il y a cependant des voies privilégiées entre certains villages. La densité du réseau est très faible (*i.e.*, elle est égale à 0,046) ce qui indique que le nombre de liens formant le réseau est infime comparé aux nombres de liens possibles. Les enquêtes révèlent aussi qu'entre 2007 et 2009, seuls 33 des 47 villages de la zone d'étude ont pratiqués les échanges (Figure 14). Il ressort aussi que moins de 8% des villages enquêtés échangent des bovins uniquement avec des éleveurs de leur propre village et/ou un seul autre village. Les autres échanges des bovins avec au moins deux autres villages.

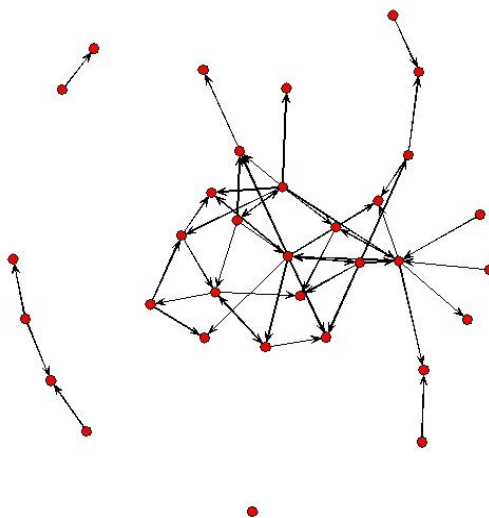


Figure 14: Réseau d'échange de bovins pour la commune Ambongamarina

Certains villages de la commune sont plus connectés que d'autres et partagent des voies de commerces avec de plus nombreux villages (Tableau 1, Tableau 2 et Annexe 6). Les betweenness sont assez peu élevées et les villages Amboanonoka et Antanifotsy sont les plus partisans des échanges d'animaux pour la période considérée. Ces deux villages sont des lieux de concentration de bovins (Tableau 2, Indegree les plus forts). Par ailleurs, les villages Amboanonoka et

Ambohimiaramananana sont des lieux très vendeur de bovins (*i.e.*, beaucoup de chemins d'échanges quittent ces villages). Le village d'Amboanonoka est un village qui concentre et vend beaucoup d'animaux. La maladie peut donc facilement y être introduite pour être largement diffusée à d'autres villages. A l'échelle de la Commune étudiée, ce village est donc un super spreader.

Tableau 1: Valeurs de betweenness des villages à plus fort taux de commercialisation de la zone d'étude

Villages	Echange	Achat/Vente	Commerce global
Ambatolampy	0	0	0
Amboanonoka	56.833 (1)	179.686 (4)	166.621 (4)
Amboaroihazo	18.000 (4)	43.733	16.204
Ambohijanahary	-	76.000 (6)	25.186
Ambohimiaramananana	6.500	282.781 (2)	332.707 (1)
Ambongamarina	17.000 (5)	458.895 (1)	216.618 (3)
Ampamoha	12.000 (6)	128.667 (5)	148.337 (6)
Antanifotsy	50.583 (2)	188.836 (3)	309.196 (2)
Fenoarivo	27.000 (3)	74.452	155.585 (5)

- Le village ne pratique pas ce type de commerce

(1) Classement des villages par leur valeur décroissante de betweenness

Tableau 2: Valeurs des degrés totaux (degree), entrant (indegree) et sortant (outdegree) des villages des réseaux de la Commune Ambongamarina

(1) Classement des villages	Degree			Indegree			Outdegree		
		achats / ventes	échanges		achats / ventes	échanges		achats / ventes	échanges
	total			total			total		
Ambohimiaramananana	25 (1)	20 (1)	8 (3)	9 (1)	8 (1)	1 (17)	16 (1)	12 (1)	7 (2)
Antanifotsy	20 (2)	13 (3)	9 (2)	9 (2)	6 (3)	4 (1)	11 (4)	7 (4)	5 (4)
Ambongamarina	19 (3)	18 (2)	6 (4)	6 (5)	6 (2)	1 (19)	13 (2)	12 (2)	5 (3)
Amboanonoka	18 (4)	11 (4)	10 (1)	7 (3)	5 (4)	3 (2)	11 (3)	6 (5)	7 (1)
Fenoarivo	13 (5)	8 (6)	6 (5)	7 (4)	5 (5)	3 (6)	6 (7)	3 (9)	3 (6)
Anosimanarivo	12 (6)	7 (7)	5 (6)	4 (11)	3 (11)	1 (22)	8 (6)	4 (6)	4 (5)
Ampamoha	11 (7)	9 (5)	3 (12)	3 (18)	2 (13)	1 (20)	8 (5)	7 (3)	2 (10)
Amboaroihazo	8 (8)	6 (8)	4 (8)	5 (6)	4 (6)	2 (10)	3 (11)	2 (11)	2 (7)
Ankerana	6 (13)	3 (19)	3 (13)	5 (7)	2 (15)	3 (4)	1 (22)	1 (21)	0 (26)

Les enquêtes réalisées cette année au sein de la commune ont aussi mis en évidence que certains villages n'ayant pas pratiqués d'échanges entre 2007 et février 2009 (*i.e.*, moment des enquêtes Rift-OI), en ont pratiqué entre 2009 et le moment de nos enquêtes (*i.e.*, début avril 2010). C'est, entre autre, le cas pour le village Ambatolampy situé dans le fokontany du même nom que la commune (*i.e.*, Ambongamarina). Ceci illustre le fait que le réseau d'échanges peut varier d'une année à l'autre.

En opposition, seuls 39 des 47 villages de la zone d'étude ont réalisé des achats et/ou des ventes au sein de la commune entre 2007 et 2009 (Figure 15). Ce réseau d'achats/ventes, même s'il est plus développé que celui des échanges, a une densité très faible (*i.e.*, égale à 0.057). Ce sont les villages Ambongamarina et Ambohimiaramananana qui sont les plus connectés aux autres villages du réseau (Tableau 1 et Tableau 2). Ces deux villages sont les plus acheteurs et vendeurs du réseau. Ils concentrent et diffusent les bovins et sont donc des super spreader de la commune étudiée.

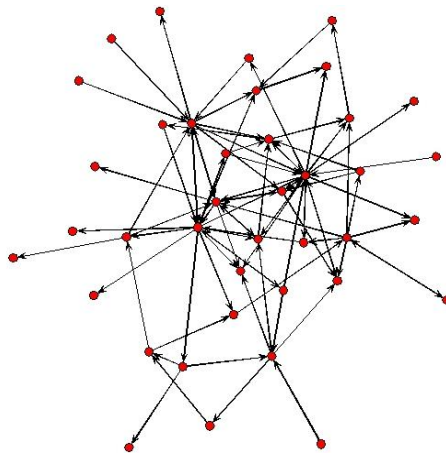


Figure 15 : Réseau d'achats/ventes des bovins de la commune Ambongamarina

3.4.1.2- Le réseau commercial « global » de la commune (échange/achat/vente)

Seul 45 villages des 47 de la base de données ont pratiqué des échanges et/ou des achats/ventes au sein de la commune, entre 2007 et le moment des enquêtes de 2009, et se trouvent donc dans le réseau global de la zone d'étude (Figure 16). Ceci implique que durant cette période, seulement 2 villages ont pratiqué des achats/ventes et/ou échanges avec des villages à l'extérieur de la commune (*i.e.*, élevage et/ou marchés) uniquement. Les élevages du village Ankazabe (nœud isolé sur la figure 16) ont pratiqué des échanges entre eux et n'ont en aucun cas achetés, vendus ou échangés des bovidés avec d'autres villages de la Commune.

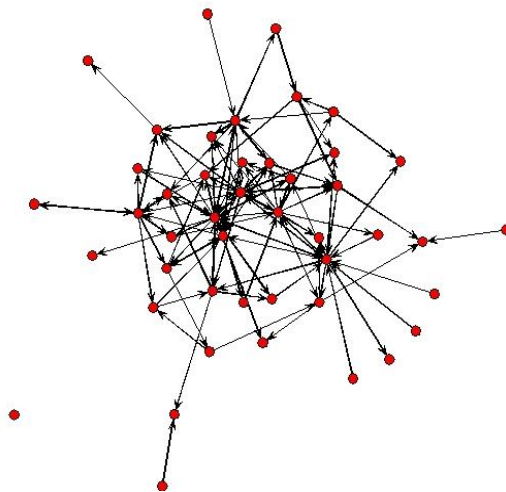


Figure 16 : Réseau global de la commercialisation des bovins de la commune Ambongamarina

De même que pour les réseaux précédents, la densité de ce réseau est très faible (*i.e.*, égale à 0.062). Les villages les plus connectés sont les villages Ambohimiarmanana et Antanifotsy qui sont aussi des lieux de concentrations des bovins. Cependant, les villages Ambohimiarmanana et Ambongamarina sont très vendeurs de ces animaux. Le village Ambohimiarmanana, très central dans le réseau, se trouve être à la fois un lieu de concentration et de large distribution des bovins, et pourrait donc être un super spreader.

Les enquêtes réalisées cette année démontrent que depuis, de nouvelles voies ont été utilisées. Par exemple, le village Ambatolampy n'a effectué ni échanges, ni achats/ventes entre 2007 et 2009 et en a réalisé pour la période 2009-2010. De plus, c'est dans ce village que se trouve le marché de bétail de la commune. Il est donc possible que le réseau de commercialisation évolue au cours du temps, puisque les éleveurs pratiquent le commerce suivant leurs besoins (*i.e.*, changement d'un vieil animal, d'un animal mort, *etc.*). Les raisons évoquées aux choix des élevages

avec lesquels l'animal est échangé, acheté ou encore vendu sont très souvent les mêmes. Il peut s'agir du fait que l'exploitation est réputée pour fournir de bons animaux et du choix, ou simplement parce que l'éleveur avec qui la transaction a lieu est un ami.

Les quatre « betweenness » les plus élevées des échanges commerciaux nommés « Achats/Ventes » et « Commerce global » sont attribuées aux mêmes villages (Tableau 1). Nous remarquons que le classement des « betweenness » des villages est différent pour le *kapsile* et les achats/ventes. Il en est de même pour les degrés (Tableau 2). Les villages pratiquant un type de commerce, ne pratiquent donc pas forcément le second (Figure 17), ni avec la même intensité. Pourtant chacun des deux villages les plus connectés du réseau global fait partie de la liste des villages les plus connectés pour un des réseaux précédents (*i.e.*, réseau d'échanges et réseau d'achats/ventes).

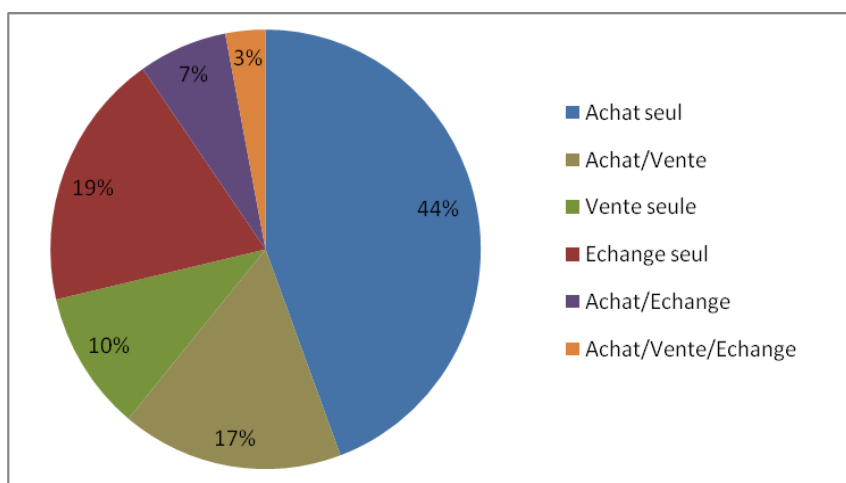


Figure 17: Pratique commerciale des éleveurs de la commune Ambongamarina

Les données récupérées montrent que 163 personnes sur les 378 enquêtés disent avoir pratiqué des achats/ventes entre 2007 et 2009 contre 73 pour les échanges. Les autres n'ont pas effectué de commerce. De plus, 71% des personnes ayant répondu avoir eues des pratiques commerciales entre 2007 et 2009 n'ont pas échangé (Figure 17). Parmi ces mêmes personnes, 27% des acheteurs et 10% des vendeurs se sont rendus sur un marché de bétail pour effectuer leur transaction.

La différence entre les réseaux d'échanges et d'achats/ventes montre que ces deux réseaux ont peu de points communs (Figure 18). Seuls 13 villages et 12 liens représentent à la fois des échanges et des achats/ventes. Il est donc nécessaire de bien prendre en compte les deux types de flux pour se rendre compte des risques liés aux mouvements d'animaux.

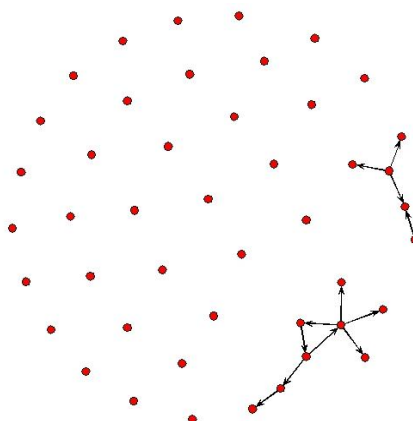


Figure 18 : Liens communs aux deux réseaux précédents

Les histogrammes des degrés des trois réseaux précédents ont la même allure (Figure 19) et indiquent que les réseaux comportent de nombreux nœuds faiblement connectés et peu de nœuds fortement connectés. Cette propriété des réseaux libre d'échelle (*scale free*) est classiquement observée pour les réseaux commerciaux (Kiss et *al.*, 2005).

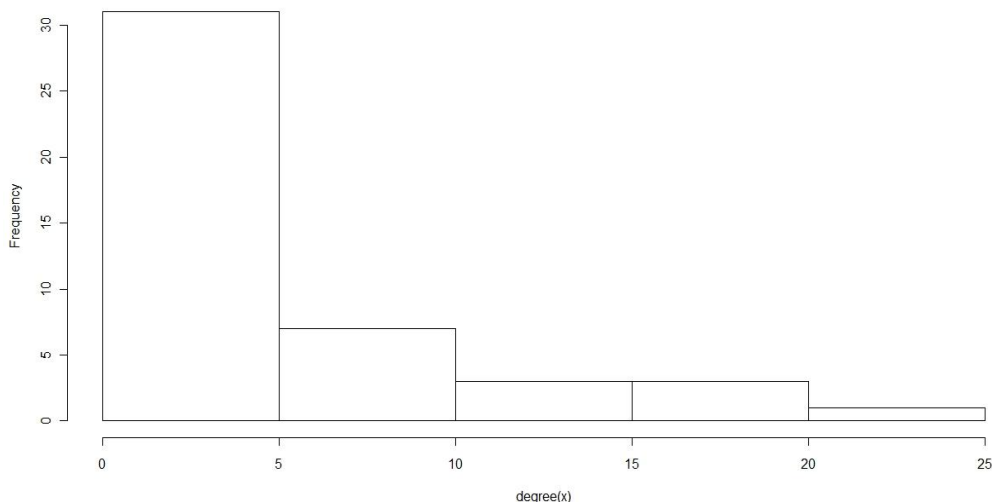


Figure 19: Histogramme des degrés des réseaux de la commune Ambongamarina

Cette propriété implique que les nœuds du réseau pourraient avoir une probabilité plus grande d'être traversés par la maladie si elle se propage. Les nœuds ayant de forte valeur de degrés (*i.e.*, indegree et outdegree) sont alors qualifiés de super spreader. Ce sont des nœuds où les animaux se concentrent pour ensuite être largement diffusés vers d'autres villages et/ou marchés. Ceci est important en termes de surveillance puisque ce sont des lieux où la surveillance doit être ciblée.

3.4.2- Le réseau de commercialisation des bovins sur les hautes terres

3.4.2.1- Le réseau des marchés liés à la commune

La commune d'étude est reliée par les marchés d'Ambatomena et Antanandava, marchés de premier ordre pour la Commune, à un réseau de commercialisation (Figure 20).

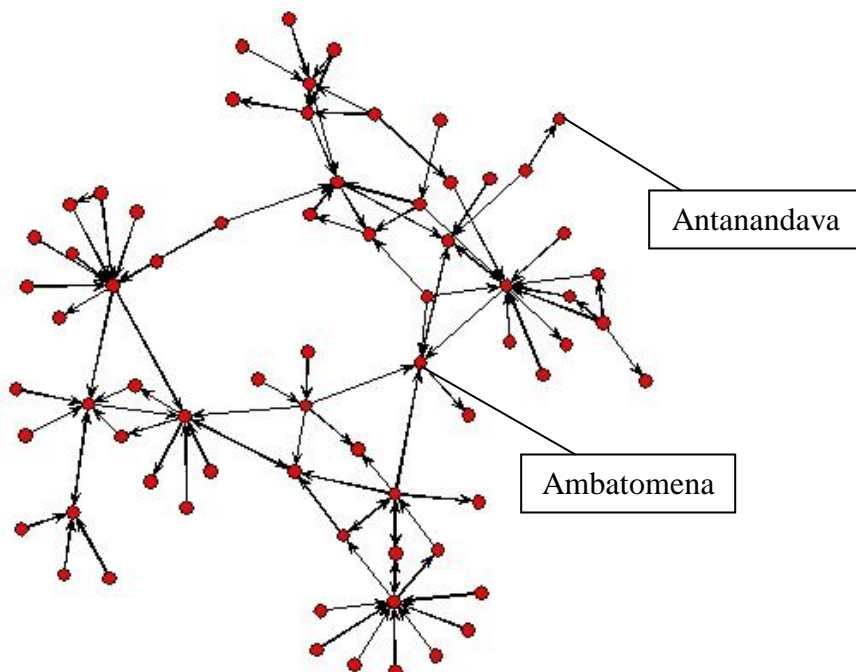


Figure 20 : Réseau de commercialisation des bovins des marchés liés à la Commune Ambongamarina

La densité du réseau est extrêmement faible (*i.e.*, 0,020). L'analyse du réseau semble confirmer que les marchés le constituant sont reliés par des chemins formant des circuits. Le marché d'Antanandava est relié, en amont, à un seul marché (*i.e.*, marché d'approvisionnement pour le marché d'Antanandava), situé dans une zone d'élevage au nord. Le marché Ambatomena tient, quant à lui, une place importante dans le réseau. Il est le 7^o marché le plus influent sur les 68 composants le réseau et est une zone de concentration de bovins (*i.e.*, 5^o indegree le plus important du réseau, Tableau 3). Les « betweenness », semblent montrer que ce sont, les marchés d'Ambohimandroso, Sabotsy-Ambohitromby et Ambatofahavalo qui sont les plus centraux du réseau et qui auraient donc le plus d'influence (cf. « Betweenness », Tableau 3). Les marchés d'Ambatofahavalo, Nazareta et Sabotsy-Ambohitromby pourraient distribuer le plus largement les bovins (cf. « Outdegree », Tableau 3). Alors que, les marchés d'Ampanotokana, Ivohitra et Sabotsy-Ambohitromby seraient des zones d'arrivages (cf. « Indegree », Tableau 3). Le marché de Sabotsy-Ambohitromby pourrait alors être un super spreader.

Les deux marchés formant le marché de Tsiromandidy, qui est le marché le plus grand de l'île, ne sont pas présentés comme très influents par ce réseau et ne semble pas être des super spreader malgré sa réputation sur l'île.

Tableau 3: Indices de centralité du réseau des marchés des Hautes Terres de Madagascar

	Degree	Indegree	Outdegree	Betweenness
Ambohimandroso	9 (5)	6 (4)	3 (7)	124 (1)
Sabotsy-Ambohitromby	12 (2)	8 (3)	4 (3)	121 (2)
Ambatofahavalo	9 (4)	3 (12)	6 (1)	94 (3)
Antanamalaza	5 (12)	4 (9)	1 (38)	60 (4)
Faravohitra	7 (8)	5 (7)	2 (17)	58 (5)
Ivohitra	11 (3)	8 (2)	3 (9)	56 (6)
Ambatomena	7 (6)	5 (5)	2 (13)	54.5 (7)
Ambatonapoaka	7 (7)	5 (6)	2 (14)	40.6667 (8)
Ampanotokana	12 (1)	9 (1)	3 (8)	39.8333 (9)
Nazareta	6 (10)	2 (18)	4 (2)	20 (14)
Tsaratana	4 (18)	0 (67)	4 (4)	0 (67)
Ambalavao	4 (16)	1 (22)	3 (5)	8 (18)
Tsiromandidy	6 (9)	4 (11)	2 (18)	20.8333 (13)

(1) Classement
des villages

3.4.2.2- Le réseau de commercialisation

Le réseau de commercialisation reprend l'ensemble des échanges commerciaux de la commune, incluant le réseau des marchés qui lui est relié par les marchés d'Ambatomena et d'Antanandava (Figure 21, page suivante). La densité de ce réseau commercial, comparable à celle de la commune, est très faible (*i.e.*, 0,018).

Le réseau commercial associé aux bovins de races croisées semble être beaucoup plus court et sélectif que celui des races locales. Les marchés proposant les premières sont peu nombreux (*i.e.*, 10 marchés sur les 41 pour lesquels nous avons pu obtenir des informations sur les races de bovins qui y sont rencontrés) et constituent un chemin conduisant à la zone d'élevage des Hautes Terres. Le réseau associé aux races locales est quant à lui plus ouvert. Il compte un plus grand nombre de marchés et constitue un réseau à deux directions, rejoignant chacune une zone d'élevage de Madagascar (*i.e.*, le grand Sud et le Nord-ouest).

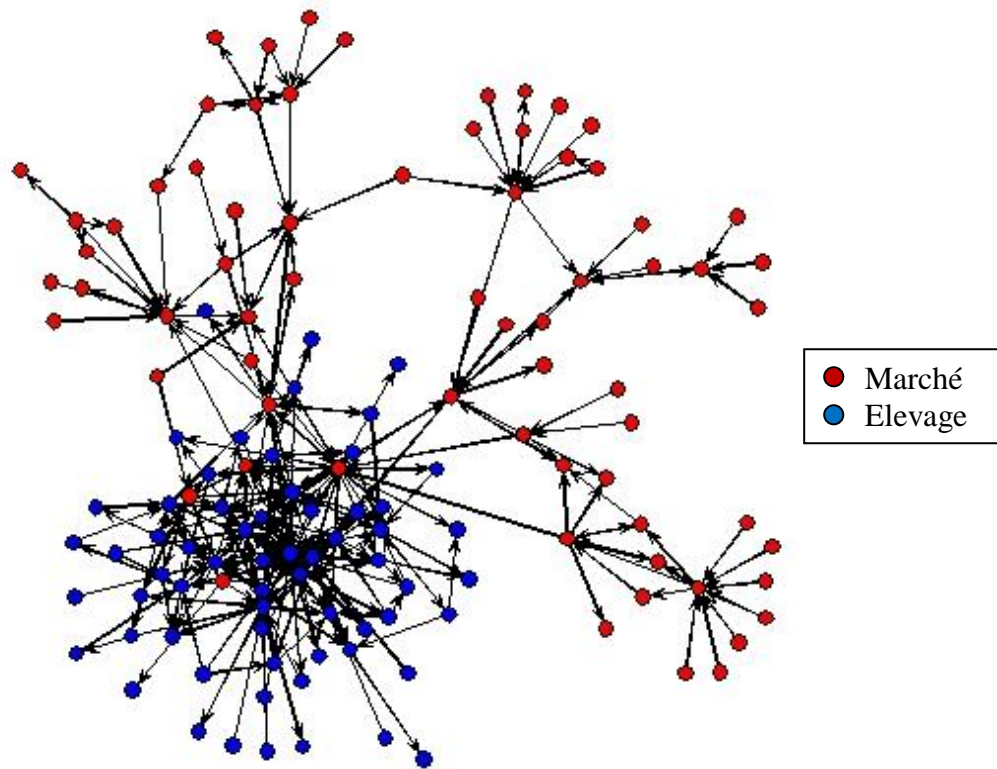


Figure 21 : Réseau de commercialisation, liés à la commune d'étude, des Hautes Terres

Le classement des degrés des nœuds du réseau indique que les villages de la Commune d'étude pourraient être beaucoup plus connectés que ceux des marchés. En effet, les élevages occupent la tête du classement alors que les premiers marchés (*i.e.*, Ambatomena et Ambohimandroso) se trouvent respectivement en 4^e et 9^e position sur les 132 nœuds du réseau. Il semblerait donc y avoir plus d'interactions entre les élevages qu'entre les marchés. Les indices de centralité semblent pourtant montrer que le marché d'Ambatomena est un super spreader (Tableau 4). En effet, au vue des analyses, ce marché est le nœud le plus central du réseau. Il semblerait que peu de chemins commerciaux parviennent, depuis d'autres marchés, jusqu'au marché d'Ambatomena mais qu'il disperse cependant, très largement les bovins qui y arrivent.

Tableau 4: Indices de centralité du réseau commercial total des Hautes Terres de Madagascar (Commune Ambongamarina et marchés des Hautes Terres)

	Degree	Indegree	Outdegree	Betw
Ambatomena	25 (4)	6 (16)	19 (1)	2224.70106 (1)
Ambongamarina	27 (3)	12 (5)	15 (3)	2076.62701 (2)
Ambohimandroso	14 (9)	8 (9)	6 (12)	1763.01166 (3)
Ambohimaramanana	30 (1)	15 (2)	15 (2)	1412.71815 (4)
Ankerana	15 (8)	8 (10)	7 (9)	1302.703052 (5)
C_anjozorobe	29 (2)	19 (1)	10 (6)	1154.36618 (6)
Amboanonoka	24 (6)	14 (3)	10 (5)	871.47120 (7)
Antanifotsy	25 (5)	13 (4)	12 (4)	852.85506 (8)
Ambatofahavalo	9 (19)	3 (31)	6 (11)	736.02381 (9)
Ampanotokana	12 (13)	9 (6)	3 (29)	685.06007 (10)
Sabotsy-Ambohitromby	12 (14)	8 (12)	4 (23)	593 (11)
Antanandava	10 (18)	1 (68)	9 (8)	48.95833 (41)

(1) Classement des villages

Le marché d'Antanandava (*i.e.*, 2^o marché d'approvisionnement des éleveurs de la commune étudiée) ne semble pas être un marché très central dans le réseau. Pourtant il est le 2^o marché, après celui d'Ambatomena, à diffuser le plus largement les animaux. Par ailleurs, la zone d'approvisionnement de ce marché se trouve dans une zone où la maladie circule. Qualifier ce marché de super spreader ne semble pas approprié. Il pourrait, cependant, être judicieux de ne pas écarter ce marché lors de la mise en place d'une surveillance des lieux à risque de dissémination pour la FVR.

De même que pour les réseaux de la Commune d'étude. Le réseau de commercialisation des Hautes Terres est libre d'échelle (scale free). Précisons toutefois que les marchés approvisionnent la majorité des élevages de leur district respectif. Ces élevages n'ont pas été pris en compte dans le réseau car trop nombreux (il existe plusieurs centaines de villages par district). Les résultats obtenus et discutés ne sont donc pas le reflet exact de la réalité. Ils sont cependant adaptés à la question que nous nous posons dans cette étude.

4- Discussion

Portée et limites de l'étude :

Ce travail étant basé sur des méthodes de récoltes de données (*i.e.*, enquêtes et échantillonnage boule de neige) pouvant être à l'origine de nombreux biais, il est important de le préciser.

Les interviews se sont déroulées auprès de personnes parlant bien souvent uniquement le malgache. Les traductions que cela a entraînées peuvent donc être des sources de biais et d'imprécision. Tout d'abord parce que les traducteurs n'avaient pas forcément un niveau en français suffisant pour restituer précisément les réponses, mais aussi parce qu'ils avaient parfois tendance à répondre à la place des personnes enquêtées, lorsque la réponse leur paraissait évidente ou pour gagner du temps. Il a par ailleurs été difficile d'imposer aux traducteurs de conserver la façon de poser la question. Ces transformations dans la façon de poser les questions peuvent entraîner des biais dans les réponses, dues à une possible orientation. Pour limiter ces biais, nous avons choisi d'employer des questions très précises (*e.g.*, Où avez-vous acheté les animaux présents avec vous aujourd'hui sur ce marché ? La réponse doit comprendre le nom du marché, du district, de la commune, du fokontany et aussi du village si possible) et plus difficile à transformer.

Au début de l'étude, le choix des personnes enquêtées était aléatoire mais les refus successifs essuyés sur certains marchés nous ont obligés à agir différemment. Ainsi, lorsque nous étions en bons termes avec un collecteur et que nous le rencontrions sur un autre marché, un autre jour, nous lui demandions de nous indiquer des personnes qu'il connaissait et que nous pourrions interviewer. L'accès aux collecteurs n'était donc plus vraiment aléatoire. Les éleveurs, intrigués par l'étude, acceptaient généralement de nous répondre, mais étaient très demandeurs d'informations que nous ne maîtrisions pas, tels que les solutions envisagées pour empêcher les vols de bovins, ou les médicaments qu'ils pouvaient donner à leurs animaux malades. Ceci donnait lieu à des rassemblements d'éleveurs autour de nous. Lorsque nous posions les questions, tous les éleveurs rassemblés répondaient alors en cœur. Il était donc difficile de savoir si les réponses étaient des généralités sur ce qu'ils pensaient être le fonctionnement du marché ou ce qu'ils avaient l'habitude de faire. Les éleveurs ayant tendances à vouloir nous faire plaisir, ils répondaient toujours aux questions même s'ils ne connaissaient pas la réponse. Cela nous a obligé à vérifier les réponses en consultant les registres du marché, disponibles à la commune.

Les conditions de terrain ont donc pu entraîner des biais importants et des problèmes de données peu fiables ou incomplètes. Ce point est important notamment pour les choix effectués lors de l'analyse du réseau des marchés.

Le plan d'échantillonnage de cette étude a été basé sur un échantillonnage boule de neige, reconnu comme optimum pour la construction des réseaux. Plus nous avançons, plus le nombre de marchés à enquêter grossissait. Nous savions que le nombre de marchés ne serait pas excessivement important et qu'il nous serait possible de tous les enquêter, mais les conditions malgaches actuelles ont troublé le déroulement de nos missions, les retardant fortement. Pour cela nous avons dû choisir de ne pas enquêter tous les marchés que nous découvrions. Seuls les marchés proches, en termes de distance sociale, de la commune d'étude ainsi que ceux qui semblaient être le plus visités par les acteurs du réseau ont été enquêtés. Cependant, dans les marchés nous avons échantillonné des éleveurs et collecteurs présents. Les problèmes énoncés dans le paragraphe 2.3.2.3 ne nous ont permis d'effectuer que 10 à 15 enquêtes par marché, quelle que soit sa taille. Ceci a pu entraîner des biais dans l'identification des marchés à visiter.

Souhaitant mettre en avant les mouvements commerciaux des bovidés sur les Hautes Terres malgaches, nous n'avons enquêté que les marchés. Pour les éleveurs venant vendre sur les marchés des animaux nés dans leur exploitation, nous avons enregistré le village de celle-ci comme origine, mais aussi le marché où l'éleveur a l'habitude de se rendre pour acheter un bovin. Certains éleveurs ne souhaitant pas nous communiquer leur village de domicile, il nous a été difficile d'intégrer les origines Villages au réseau. Nous avons préféré intégrer l'origine Commune qui reste suffisamment vague pour que les personnes enquêtées acceptent de nous les communiquer. Il en est de même pour les destinations. Les personnes enquêtées ne se souvenaient pas précisément des noms des Villages mais pouvaient citer les Communes dans lesquelles les bovins étaient partis. Nous avons donc dû faire face à une différence d'échelle. Les marchés peuvent être localisés jusqu'au niveau Village alors que les élevages ne le sont que jusqu'au niveau Commune. Il faut préciser que les communes peuvent compter plusieurs marchés. Cela pose problème dans l'analyse des données. Le SNA est généralement employé lorsque tous les nœuds ont la même échelle. Cela n'étant pas possible dans notre cas, à moins de laisser de côté un grand nombre de données, nous avons choisi de distinguer deux échelles. Cela permet de garder la précision du réseau en termes de mouvement mais nous a obligés à ne pas utiliser certains paramètres tels que ceux à l'échelle du réseau qui dépendent du nombre de nœuds et de liens dans le réseau. Ces problèmes d'échelle ne pouvaient être résolus dans le temps imparti. Le fait de ne pas tenir compte de l'homogénéité de l'échelle du réseau n'est pas pénalisante, puisque l'objet d'étude concerne uniquement les mouvements et les origines des bovins. Cela limite néanmoins les possibilités d'analyse.

La technique d'analyse des réseaux sociaux est très intéressante mais son application a des limites notamment en pays du Sud. Pour pouvoir construire un réseau, il est nécessaire d'avoir des données sur les mouvements d'animaux. En pays en développement, obtenir ces données passe par des enquêtes préalables, qui représentent une charge de travail importante et une imprécision sur les données récoltées. Dans les pays où les mouvements d'animaux sont enregistrés, le SNA devient un très bon outil.

Importance des marchés :

Nous avons pu observer des différences dans la "réputation" des marchés auprès des éleveurs qui s'y rendent. Certains sont plus appréciés que d'autres même s'ils comptent un plus petit choix de bovins. L'explication que nous pouvons donner est que la proximité de ces marchés avec le lieu de vie des éleveurs est très importante. Les éleveurs, n'ayant que peu de temps à consacrer au commerce, se rendent sur les marchés les plus proches. Le choix des races peut aussi être un facteur important. En effet, puisque seulement certains marchés offrent des bovins de races croisées, il est légitime que les éleveurs souhaitant acheter ce type de bovins se rendent sur les marchés les proposant, même s'ils sont plus éloignés qu'un autre marché. Certains éleveurs sont prêts à parcourir de très longues distances pour acheter leurs animaux. Ainsi des éleveurs de la province de Tamatave (*i.e.*, sur la côte est) ont pu être rencontrés sur le marché de Tsiromandidy

(i.e., plus proche de la cote ouest). Ce qui peut s'expliquer par la place prépondérante de ce marché à Madagascar (i.e., premier marché de l'île).

Toutes ces observations sont corroborées par les valeurs des paramètres du réseau qui démontrent que les marchés les plus gros ne sont pas forcément les plus influents. Par exemple, le marché d'Ambatomena apparaît comme le plus influent pour l'ensemble du réseau mais est pourtant très petit (i.e., 40 à 70 bovins par jour de marché). Ceci s'explique par le fait que ce marché est un marché de premier ordre pour la commune étudiée. Plus les marchés sont proches en terme de distance sociale de la commune, plus ils sont influents. Pourtant, le marché Ambohimandroso, qui est un marché de troisième ordre pour la Commune, est le deuxième marché le plus important après Ambatomena. Cela s'explique par l'intérêt que portent, les éleveurs de la Commune, à ce marché qui propose un large choix de bovins des deux races.

Période les plus à risques :

L'histoire a pu démontrer que dans le cas de la FVR, les mouvements d'animaux pouvaient être une source d'introduction (cf. Introduction). Ceci implique que le risque de diffusion augmente en fonction de ces flux d'animaux. Ainsi, nous pouvons noter que les périodes les plus à risques, en terme d'introduction ou de transmission de la FVR, sont bien souvent des périodes où les flux d'animaux deviennent plus intenses et donc où les quantités d'animaux en mouvement sont plus importants (e.g., augmentation des foyers de FVR à l'approche des fêtes lorsque les achats d'animaux explosent). La FVR est une maladie vectorielle. La présence du vecteur est donc importante dans la diffusion. Cependant, la transmission par le contact avec des animaux infectés a déjà pu être observée chez les ruminants. Ainsi, plus le nombre d'animaux est important sur un marché, plus le nombre de contact augmente, ce qui entraîne une diffusion plus rapide et un risque plus grand pour l'acheteur de se procurer un animal infecté. Les collecteurs ont alors plus de chance de conduire des animaux infectés sur les circuits de commercialisation et les éleveurs d'introduire la maladie dans leurs exploitations.

Nous avons pu mettre en avant qu'à Madagascar le commerce s'intensifie durant la période moyenne de travail (i.e., sans distinction des régions) qui s'étend de mars à octobre. Pendant cette période, l'animal prend une grande importance et permet aux éleveurs d'effectuer les lourdes tâches rattachées au travail de la terre et à la récolte des cultures. A Madagascar où le riz est l'aliment essentiel de la population, la plupart des gens cultivent le riz et sont agriculteurs. La zone des Hautes Terres est réputée pour ses nombreuses rizières et ses multiples variétés de riz. Si les différents légumes présents dans la zone poussent à des périodes fixes, le riz peut donner plusieurs récoltes par an en fonction de la variété et donc en fonction des régions de cultures. Ceci explique l'existence de variations dans la période de travail en fonction des régions et la persistance des mouvements de bétail tout au long de l'année. Puisque la période de travail semble être le moment le plus propice au commerce, les mouvements d'animaux rattachés à ce dernier ont alors lieu toute l'année. Cependant, à l'échelle des Hautes Terres, ce sont les mois de mars et juillet qui semblent les plus à risque.

Origine des bovins présents dans le réseau :

Le SNA est un excellent outil pour cibler précisément la surveillance sur les lieux à risques. A priori, trois origines distinctes pour les bovins se dégagent des résultats. Nous avons constaté que tous les chemins du réseau, concernant les bovins de races locales, remontent aux élevages du Sud et du Nord-ouest. Pour les races croisées, une troisième origine a pu être identifiée. Ces animaux ne supportant que le climat des Hautes Terres, les élevages y sont majoritairement représentés. Les indices de centralités ont aussi mis en avant les marchés les plus influents sur la commune d'étude. Ainsi, lors de la mise en place d'une surveillance pour la FVR, ces marchés devront être ciblés.

Commercialisation et prévalence :

La commune Ambongamarina

Les trois densités des réseaux de la Commune et la distribution des degrés sont comparables.

Les propriétés des réseaux au niveau global le sont donc aussi. Ceci implique que la maladie se propage globalement de façon identique dans ces réseaux.

Même si les chemins d'échanges et d'achats/ventes sont différents, ils sont employés dans les mêmes proportions (*i.e.*, même nombres de chemins). Les éleveurs achètent rarement plus d'un ou deux bovins à la fois et ce en fonction de l'âge des animaux de l'exploitation (*i.e.*, cela peut varier entre deux fois par an et une fois tous les 8 ans). Dans cette commune, les échanges sont plus fréquents et font parti des habitudes. Il y a des variations de fréquence d'échange entre les éleveurs (*i.e.*, certains éleveurs échangent plusieurs fois par an, voire même plusieurs fois par mois, alors que d'autres ne le font qu'une ou deux fois par an). Les échanges concernent, cependant, toujours un animal à la fois mais pas forcément avec le même élevage. Ainsi, les flux peuvent avoir un impact, au niveau des marchés. Globalement, au sein de la commune Ambongamarina, les achats/ventes sont plus pratiqués que les échanges. Par ailleurs ce dernier réseau fluctue d'une année à l'autre. Le risque de propagation de la maladie serait donc plus important via le réseau achats/ventes.

Les prélèvements effectués en 2008 ont permis de calculer des prévalences par village. L'annexe 7 présente ces résultats. Tous les villages enquêtés ont de fort taux de prévalence en IgG mais peu sont touchés par les IgM. L'infection par la FVR des bovins de ces villages est donc ancienne (*i.e.*, date, au moins, de l'année précédente). Par ailleurs, les analyses statistiques déjà effectuées, basées sur la typologie des élevages de la Commune étudiée, démontrent que les villages les plus infectés (*i.e.*, Ambatolampy, Ambohijanahary, Ambohimahatsinjo, Ankerana, Antanisoa, Miarinarivo) ne respectent pas l'ordre des betweenness. Apparemment, les villages de la commune les plus influents ne sont pas les plus à risques. Ceux-ci font pourtant partie des 30 villages les plus influents du réseau (*i.e.*, sur les 60 pris en compte dans l'analyse). Par ailleurs, trois collecteurs se rendent dans le village Ambatolampy, afin de vendre des bovins de races croisées invendus ou qu'ils ont achetés sur le marché d'Ambatomena. Les flux commerciaux pourraient donc être en partie responsables de la propagation de la maladie.

Les villages désignés comme étant les plus à risque par les analyses statistiques ne sont pas forcément les villages ayant les prévalences les plus élevées. Cependant, l'analyse du réseau met en avant le fait que tous ces villages effectuent des achats sur les marchés de premier ordre de la Commune (*i.e.*, Antanandava et Ambatomena), ainsi qu'avec le village désigné comme plaque tournante (*i.e.*, Ambongamarina) et le village accueillant le petit marché de la Commune (*i.e.*, Ambatolampy).

Ceci permet de mettre en avant l'influence des mouvements sur la dissémination de la maladie au sein des villages de la Commune Ambongamarina.

Les districts de Madagascar

Les enquêtes de prévalence de la FAO récemment menées sur les bovins de l'ensemble des districts de Madagascar ont permis de constater l'étendue de la contamination par la FVR (annexe 7). Les résultats de l'étude présentée dans ce rapport sont préliminaires. Leur approfondissement permettra, par la suite, de mettre en relation le réseau de mouvement avec la répartition des prévalences de la maladie à l'échelle de Madagascar.

Toutes ces informations semblent appuyer l'idée que les mouvements commerciaux des bovidés ont une influence sur la propagation de la FVR au sein de la commune. Des analyses complémentaires pourront nous informer sur leur influence dans la dispersion de la maladie à l'échelle des Hautes Terres.

Il est cependant important de préciser que la réalisation d'un SNA ne suffit pas à déterminer les lieux où les foyers de la maladie vont apparaître. Généralement, ils apparaissent dans des sous-structures du réseau qu'il est plus difficile de déterminer. Pour cela, il est nécessaire d'approfondir l'analyse. L'utilisation de blockmodelling, par exemple, permet de grouper les nœuds qui ont des propriétés communes et de voir si un des groupes correspond aux nœuds où les foyers sont

observés. La présente analyse sera donc poursuivie dans le cadre d'une thèse de doctorat sur la Diffusion de la FVR par les mouvements de ruminants. Une modélisation de la circulation virale dans une zone endémique et une simulation d'une émergence en zone indemne seront alors effectués.

Conclusion

L'analyse du réseau de commercialisation nous a permis, dans cette étude, d'identifier les marchés et les villages qui pourraient représenter le plus de risques dans la dissémination de la FVR à Madagascar. Elle nous a aussi permis de commencer à évaluer l'impact des mouvements de bovins, liés à l'activité commerciale des éleveurs et des collecteurs. Nous avons pu déterminer les origines des bovins et les mettre en relation avec les prévalences de la FVR dans les différents villages de la Commune Ambongamarina. Nous pouvons ainsi dire qu'au sein de la Commune étudiée, les mouvements semblent avoir une influence sur la distribution des prévalences et donc sur la propagation de la maladie. Des analyses complémentaires pourraient permettre de déterminer, à l'échelle des Hautes Terres, l'impact des mouvements commerciaux sur la propagation de la maladie lors des précédentes épidémies de 2008 et 2009. Des analyses statistiques de ces résultats pourraient, notamment, nous permettre d'en savoir plus.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, la propagation du VFVR hors de l'Afrique est principalement due au phénomène de réchauffement climatique mais aussi à la commercialisation des animaux (dans le cas de son arrivée au Yémen et en Arabie), et elle n'exclut donc pas que ce virus puisse également traverser la méditerranée et toucher ainsi l'Europe. La détection de la FVR à Madagascar alerte donc sur la propagation depuis l'Afrique de ce virus, et incite à une surveillance épidémiologique renforcée. Cette surveillance a déjà été amorcée par un plan TCP-FAO d'Assistance d'urgence pour la surveillance de la FVR à Madagascar (FAO 2003a).

Cependant, afin que les mesures prises soient efficaces, il est nécessaire de mieux connaître l'épidémiologie de cette maladie sur le territoire malgache. Ainsi, les projets Rift-OI et Animalrisk œuvrent ensemble afin de déterminer, entre autres, le ou les réservoirs naturels, les moyens de diffusions et l'origine de la maladie. Cette étude aura permis d'acquérir de nouvelles données et d'avancer sur l'hypothèse du rôle des mouvements de bétails dans la dissémination de la FVR à Madagascar. Rappelons par ailleurs que cette analyse se base sur de nombreux témoignages et des traductions parfois laborieuses qui peuvent avoir influencées les résultats obtenus. L'étude présentée ici n'est donc pas suffisante pour déterminer les lieux d'apparition des foyers de la maladie. L'ensemble des résultats obtenus sera donc repris et approfondi dans le cadre d'une thèse intitulée : "Diffusion de la fièvre de la vallée du Rift par les mouvements de ruminants : modélisation de la circulation virale dans une zone endémique et simulation d'une émergence en zone indemne".

Bibliographie

ABD EL-RAHIM I.H., EL-HAKIM U., HUSSEIN M., 1999. An epizootic of Rift Valley fever in Egypt in 1997. *Rev Sci Tech.* 18(3):741-8.

AFSSA, 2005. Rapport sur l'évaluation du risque d'apparition et de développement de maladies animales compte tenu d'un éventuel réchauffement climatique. Maisons-Alfort : Afssa, 2005

AHMED J., BOULOY M., ERGONUL O., FOOKS A. R., PAWESKA J., CHEVALIER V., et *al.*, 2009. International network for capacity building for the control of emerging viral vector-borne zoonotic diseases: arbo-zoonet. *EUROSURVEILLANCE* Vol. 14 - Issue 12 – 26. March 2009.

ANDRIAMANDIMBY S.F., RANDRIANARIVO-SOLOFONIAINA A.E., JEANMAIRE E.M., RAVOLOLOMANANA L., RAZAFIMANANTSOA L.T.R., et *al.*, June 2010. Rift Valley Fever during Rainy Seasons, Madagascar, 2008 and 2009. *Emerging Infectious Diseases*. www.cdc.gov/eid - Vol. 16, No. 6, 963-970

BITEAU-COROLLER F., 2008. Conférence : Point sur la fièvre de la vallée du Rift. Services Vétérinaires. Power point disponible sur le site du Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche.

BIGRAS-POULIN M., THOMPSON R.A., CHRIEL M., MORTENSEN S., GREINER M., 2006. Network analysis of Danish cattle industry trade patterns as an evaluation of risk potential for disease spread, *Preventive Veterinary Medicine*, Vol. 76, 11-39

BIRD B.H., GITHINJI J., MACHARIA J., et *al.*, 2008. Multiple virus lineages sharing recent common ancestry were associated with a large Rift Valley fever outbreak among livestock in Kenya during 2006–2007. *J Virol.* 82:11152–11166.

BIRD B.H., KSIAZEK T.G., NICHOL S.T., MACLACHLAN N.J., 2009. Rift Valley fever virus. *Vet Med Today: Zoonosis Update*. JAVMA, Vol. 234, No. 7.

BUTTS C.T., 2008. A Package for Managing Relational Data in R. *Journal of Statistical Software*, Vol.24, Issue 2.

CDC, 2000. Outbreak of Rift Valley fever—Saudi Arabia, August–October, 2000. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2000;49:905–908.

CHEVALIER V., 2009. Fièvre de la vallée du RIFT dans les îles de l'Océan Indien - RIFT-OI. Rapport d'activités Année I.

CHEVALIER V., PEPIN M., PLEE L., LANCELOT R., 2010. Rift Valley fever - a threat for Europe? *Euro Surveill.* 15(10):pII=19506.

Disponible en ligne: [<http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=19506>]

CHRISTLEY R.M., PINCHBECK G.L., BOWERS R.G., CLANDY D., FRENCH N.P., BENNETT R., TURNER J., 2005. Infection in social network: using network analysis to identify high risk individuals, *American Journal of Epidemiology*, 162 (10), 1024-1031.

CLERC Y., RODHAIN F., DIGOUTTE J.P., ALBIGNAC R., COULANGES P., 1982. Le programme exploratoire arbovirus de l'Institut Pasteur de Madagascar: bilan 1976-1980. *Arch. Inst. Pasteur Madagascar*, 49, 65-77.

CORSO B., PINTO J., BELTRAN-ALCRUDO, DE SIMONE J., LUBROTH L., 2008. Rift Valley fever outbreaks in Madagascar and potential risks to neighbouring countries. EMPRES Watch, FAO, April 2008.

DAUBNEY R., HUDSON J. R. et GARNHAM P. C. C., 1931. Enzootic hepatitis or Rift Valley fever: An undescribed disease of sheep, cattle and man from East Africa. *Journal of pathology and bacteriology*, 34: 545-579.

DOMINGUEZ M. et DUFOUR B., 2005. Influenza aviaire hautement pathogène en asie du sud est : Bilan de l'épizootie et de l'épidémie, au 31 mars 2005. *Epidémiol. et santé anim.*, 48, 105-119.

EMPRES Watch, September 2008. Climate models predict increased risk of precipitations in the Horn of Africa for the end of 2008. Disponible en ligne :
[<http://www.fao.org/docs/eims/upload/248202/aj129e00.pdf>]

FAO, 2000. Reconnaître la peste des petits ruminants. Manuel de terrain no 7. Disponible en ligne :
[<http://www.fao.org/docrep/003/x1703f/x1703f00.htm#TopOfPage>]

FAO, 2003 a. Préparation des plans d'intervention contre la fièvre de la vallée du Rift. Manuel de santé animale no15. Disponible en ligne :
[<http://www.fao.org/empres>]

FAO, 2003 b. Recognizing RVF. Animal health manual no 17. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Rome, 2003.

FAO - WHO experts consultation, 29 September–1 October 2008. Rift Valley fever outbreaks forecasting models. Rome, Italy. Disponible en ligne :
[<http://www.who.int/csr/resources/publications>]

FLICK R. et BOULOY M., 2005. Rift Valley fever virus. *Curr Mol Med*. Dec 2005; 5(8): 827-34.

FONTENILLE D., TRAORE-LAMIZAN M., DIALLO M., THONNON J., DIGOUTTE J.P., and ZELLER H.G., 1998. New Vectors of Rift Valley Fever in West Africa. *Emerging infectious Diseases*. April – June 1998, Vol. 4, No 2.

HANDKOCK M.S., HUNTER D.R., BUTTS C.T., GOODREAU S.M., MORRIS M., 2008. Software Tools for the Representation, Visualization, Analysis and Simulations of Network Data. *Journal of Statistical Software*, Vol. 24, Issue I.

HOOGSTRAAL H., MEEGAN J.M., KHALIL G.M., 1979. The Rift Valley fever epizootic in Egypt 1977–78. 2. Ecological and entomological studies. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 73:624–629.

INSTAT, 2010. Recensement 2009 : Population et nombre de toits par Fokontany selon la déclaration des chefs fokontany. Données non publiées, fichiers prêtées par l'INSTAT.

IZQUIERDO L.R. et HANNEMAN R.A., 2006. Introduction to the formal analysis to social networks using Mathematica, University of California. Disponible en ligne :
[http://faculty.ucr.edu/~hanneman/mathematica_network.pdf]

JEANMAIRE E.M., BIARMANN M., RABENARIVAHINY R., FENOZARA P., RABIBISOA L., RAVAOMANANA F., RANDRIAMPARANY T., ANDRIAMANDIMBY S.F., DE LA ROCQUE S., REYNES J.M., 2010. Prevalence of Rift Valley fever infection in ruminants in

- Madagascar following the 2008 outbreak. Vector-Borne and Zoonotic Diseases, sous presse. Projet CERF (Central Emergency Response Fund) des Nations Unies, 08-FAO-021.
- JUP P.G., KEMP A., GROBBELAAR A., et *al.*, 2002. The 2000 epidemic of Rift Valley fever in Saudi Arabia: mosquito vector studies. *Med Vet Entomol* 2002;16:245–252. 30.
- KAO R.R., DANON L., GREEN D.M., KISS I.ZI., 2006. Demographic structure and pathogen dynamics on network of livestock movements in Great Britain, *Proc. R. Soc. B*, 273, 1999-2007
- KISS I.Z., GREEN D.M. and KAO R.R., 2005. Infectious disease control using contact tracing in random and scale-free networks. *J. R. Soc. Interface* 22 February 2006. Vol. 3 no. 6 55-62
- LABORATOIRE de SPIEZ, 2006. Fièvre de la vallée du Rift. Fact Sheet. Suisse.
- LEFEVRE P-C., 2010. Cours: La Fièvre de la Vallée du Rift. Toulouse, le 13 janvier 2010.
- LEIBLER J.H., CARONE M., SILBERGELD E.K., 2010. Contribution of Company Affiliation and social contacts to risk estimates of between-farm transmission of Avian Influenza. March 2010. Vol. 5 - Issue 3 - e9888.
- LINTHICUM K.J., LOGAN T.M., BAILEY C.L., et *al.*, 1989. Transstadial and horizontal transmission of Rift Valley fever virus in *Hyalomma truncatum*. *Am J Trop Med Hyg* 1989;41:491–496.
- MAEP, 2009. Le Gouvernement Malagasy en marche pour endiguer. L'épidémie de la Fièvre de la Vallée du Rift avec l'appui des partenaires internationaux. Disponible en ligne : [\[www.maep.gov.mg/actufievre.htm\]](http://www.maep.gov.mg/actufievre.htm)
- MEEGAN J.M, WATTEN R.H., LAUGHLIN L.W., 1981. Clinical experience with Rift Valley fever in humans during the 1977 Egyptian epizootic. *Contrib Epidemiol Biostat*; 3:114–123
- MERCKLE P., 2004. Les réseaux sociaux - *les origines de l'analyse des réseaux sociaux*. CNED / ens-lsh 2003-2004.
- Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche (MAEP), 2010. Disponible en ligne: [\[http://www.maep.gov.mg\]](http://www.maep.gov.mg)
- MORVAN J., SALUZZO J.-F., FONTENTTE D., ROLLIN P.E. and COULANGES P., 1991. Rift Valley fever on the east coast of Madagascar. *Paris. Res. Virol*, 142, 475-482.
- OFDA, 2009. Emergency livestock and human health response to control the outbreak of rift valley fever in Madagascar. Rapport final. Emergency operations and rehabilitation division (TCE) - FAO. OSRO/RAF/809/USA.
- OIE (Organisation Mondiale de la Santé Animale), 2002. Maladies Animales, Fièvre de la Vallée du Rift, mise à jour 22/04/2002. Disponible en ligne : [\[http://www.oie.int/fr/maladies/fiches/f_a080.htm\]](http://www.oie.int/fr/maladies/fiches/f_a080.htm)
- OIE, 2007. Rift Valley Fever. *Infectious Enzootic Hepatitis of Sheep and Cattle*. RVF_H1106_0507, last reviewed 31 may 2007.
- OIE, 2008. Rift Valley fever. In: *Terrestrial animal health code*. 8.12.

Disponible sur: www.oie.int/eng/normes/Mcode/en_chapitre_1.8.12.htm.

OIE, 2010. Disponible en ligne :

[http://www.oie.int/wahis/public.php?page=event_summary&reportid=9258]

OMS, 2007. Aide mémoire – Lutte contre la FVR. Disponible en ligne

[<http://www.who.int/csr/resources/publications/standardprecautions/en/index.html>]

ORTIZ-PELAEZ A., PFEIFFER D.U., SOARES-MAGALHAES R.J., GUITIAN F.J., 2006. Use of social Network analysis to characterize the pattern of animal movements in the initial phases of the 2001 foot and mouth disease (FMD) epidemic in UK, *Preventive Veterinary Medicine*, Vol. 76, 40-55

PERISSE ARS., NERY J.A.C., 2007. The relevance of social network analysis on the epidemiology and prevention of sexually transmitted diseases, *Cad. Saúde Pública.*, Vol. 23, Sup 3:S361-S369. Rio de Janeiro

POUPART, DESLAUNIERS, GROULX, LAPERRIERE, MAYER, PIRES, 1997. *La recherche qualitative. Enjeux épistémologiques et méthodologiques*, pp. 113-169. Première partie : Epistémologie et théorie. Montréal : GaëtanMorin, Editeur, 405 pp.

RALISON E., 2003. Elevage et pauvreté à Madagascar. Conférence "Agriculture et Pauvreté". Antananarivo.

[<http://www.ilo.cornell.edu/polbrief/03conv/pb3-2.pdf>]

RAVELOSON N.E., RAMORASATA J.A.Ch., RASOLOFOHANITRININOSY R., RANDRIANANTOANDRO P., RAKOTOARIVONY S.T., SZTARK F., Mai 2009. Forme hémorragique grave de la Fièvre de la Vallée du Rift observée chez un jeune Malgache. *Revue d'anesthésie-réanimation et de médecine d'urgence*, 1(2) : 1-3.

SHOEMARKER T., BOULIANNE C., VINCENT M.J., PEZZANITE L., AL-QAHTANI M.M., AL-MAZROU Y. et al., 2002. Genetic analysis of viruses associated with emergence of Rift Valley fever in Saudi Arabia and Yemen, 2000-01. *Emerg Infect Dis.* 8(12):1415-20.

SHOPE R. E., PETERS C. J., et DAVIES F. G., 1982. Fièvre de la vallée du Rift: propagation et méthodes de lutte. *Bulletin de l'Organisation mondiale de la Sante*, 60 (5): 703-709.

SISSOKO D., GIRY C., GABRIE P., TARANTOLA A., PETTINELLI F., COLLET L., D'ORTENZIO E., RENAULT P. et PIERRE V., 2008. Emergence de la Fièvre de la Vallée de Rift à Mayotte 2007-2008.

[http://www.reunion.sante.gouv.fr/.../S2-2_FVR_Mayotte_DSissoko.pdf]

SMITHBURN K.C., HADDOW A.J., GILLET J.D., 1948. Rift Valley fever. Isolation of the virus from wild mosquitoes. *Br J Exp Pathol* 1948;29:107– 121.

SMITHBURN K.C., 1949. Rift Valley fever: the neurotropic adaptation of the virus and the experimental use of this modified virus as a vaccine. *Br J Exp Pathol* 1949;30:1–16.

SSARTIRANO G.R., RIBOT J.J. et PUGLISI G., 1990. Accès au marché CEE de viande bovine: l'exemple de Madagascar. FAO. Projet du Fonds européen de développements n° 5100.15.35.052 de «*Réhabilitation de trois abattoirs à Madagascar: formation du personnel des abattoirs rénovés et des cadres des services vétérinaires malgaches*». Disponible en ligne :

[<http://www.fao.org/docrep/v1650t/v1650T0j.htm>]

SWANEPOEL R, COETZER J.A.W., THOMPSON G.R., 2004. Rift Valley fever. In: Coetzer J.A.W, Thompson G.R, Tustin RD, et al., eds. *Infectious diseases of livestock with special reference to southern Africa*. 2nd ed. Cape Town, South Africa: Oxford University Press, 2004;1037–1070.

THE HERALD online, 2010. Disponible en ligne :

[<http://www.theherald.co.za/article.aspx?id=576036>]

THOMAS A. GLASS, CARLOS F. MENDES DE LEON, TERESA E. SEEMAN and LISA F. BERKMAN I., 1997. Beyond single indicators of social networks: a lisrel analysis of social ties among the elderly, *soc. sci. Med.* Vol. 44, No. 10, pp. 1503-1517, 1997

WAHID, 2006. Interface OIE.

WAHID, 2010. Disponible en ligne :

[http://www.oie.int/wahis/public.php?page=single_report&pop=1&reportid=9221]

WASSERMAN S., FAUST K., 1994. Social Network Analysis: Methods and application, *Cambridge University Press*, Cambridge

WEBB C.R., 2006. Investigating the potential spread of infectious diseases of sheep via agricultural shows in Great Britain, *Epidemiol. Infect.*, 134, 31-41

WHO - Fact sheet 207. Disponible en ligne: Dernière mise à jour Mai 2010

[<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs207/en/index.html>]

ZELLER H.G., AKAKPO A.J., BA M.M., 1995. Rift valley fever epizootic in small ruminants in southern Mauritania (October 1993): risk of extensive outbreaks. *Ann. Soc. Belge Méd. Trop.*, 75, 135-140.

Annexes

Annexe 1 : Mouvements de bétail à Madagascar en 1997	50
Annexe 2 : Exemple de données recueillies lors des enquêtes de 2009	51
Annexe 3 : Questionnaire d'enquêtes 2010	52
Annexe 4: Proportion des acteurs par marchés d'après les responsables des marchés	55
Annexe 5: Liste des marchés du réseau de commercialisation lié à la commune Ambongamarina..	58
Annexe 6: Betwenness des villages de la Commune Ambongamarina	59
Annexe 7: Prévalence en IgG et IgM des villages des différents fokontany de la Commune Ambongamarina lors des épidémies de 2008 © Base de données Rift-OI.....	60
Annexe 8: Prévalence de la FVR à Madagascar en 2009 © Projet CERF des nations Unies - FAO	61

MADAGASCAR

Principaux courants de bétail

0 50 100 Km

Annexe 2 : Exemple de données recueillies lors des enquêtes de 2009

(a) Typologie des élevages

	Classe 1 (n=160)	Classe 2 (n=149)	Classe 3 (n=32)	Classe 4 (n=38)
Accès animaux à la forêt	Non	Non	Non	Oui
Pt eau le plus proche (distance en m)	500	200 à 500	500	< 200 (vtest = 6,4002)
Pt eau le plus proche (type)	Rizière	Rizière	Rivière	Canal d'irrigation (vtest = 2,9138)
Lieu de divagation	Hors du village	Dans le village	Hors du village	Dans et hors du village
Distance forêt (en m)	500 à 1000	> 1000	> 1000	< 500 m
Nb BV dans exploitation (par catégorie d'âge)	> 10 ans	4 à 9 ans	1 à 3 ans	1 à 3 ans
Races des bovins	Locale	Locale et Croisée (vtest = 2,2419)	Locale (vtest = 12,0211)	Croisée
Logement des bovins	Enclos	Abri (vtest = 2,6634)	Enclos	Enclos
Déplacement animaux hors élevage	Oui (vtest = 2,3875)	Non	Non	Oui
Echanges d'animaux avec d'autres éleveurs	Non	Oui (vtest = 3,4811)	Non (vtest = 8,7197)	Non
Origine des animaux (renouvellement)	Elevage (vtest = 2,9204)	Autre élevage	Marché	Elevage
Achat récent des bovins	Non	Oui	Oui	Non
Origine géographique animaux	Elevage	District	Région	Elevage

(b) Prévalences par classes

	Effectif animaux prélevés	Nombre IgG (+)	Nombre IgM (+)	Prévalence en IgG (%)	Prévalence en IgM (%)
Classe 1	392	105	3	27	0,7
Classe 2	332	89	3	27	0,9
Classe 3	73	21	0	29	0
Classe 4	83	26	1	31	1,2

Questionnaire d'enquête – Zone des Hautes Terres (Triangle Majunga – Fenerive est – Fianarantsoa) Fièvre de la vallée du Rift

N° Fiche : _____

Nom de l'enquêteur : _____

Date : __/__/____

Nom de l'enquêté (et fonction : éleveur, collecteur...): _____

Domicile : District : _____

Commune : _____

Fokontany : _____

Village : _____

1) Localisation

Localisation GPS :

Longitude	Latitude

Localisation géographique de l'enquête :

Région	
District	
Commune	
Fokontany	
Village	
Marché / Elevage	

2) Population présente sur le lieu de l'enquête

Espèce	Race *	Nombre	
		Jeunes\$	Adultes
Bovins			
Ovins			
Caprins			

* : locale (L), importée (I),
croisée (C)\$: Jeunes (avant l'âge de
reproduction)

Utilisation des animaux présents sur le site de l'enquête (cocher les bonnes cases) :

Espèce	Travail agricole	Transport	Autoconsommation	Vente (Viande, Lait, commerce)	Epargne	Autre
Bovins						
Ovins						
Caprins						

3) Mouvements d'animaux

→ **Déplacements:** Où avez-vous l'habitude d'acheter vos animaux ?

	Bovins	Ovins	Caprins
District			
Commune			
Fokontany			
Village			
Lieu (marché, élevage)			

→ Avez-vous **acheté** des animaux ces 2 dernières années (2009-2010)? ☐ Oui ☐ Non

Si oui remplissez le tableau suivant :

		Bovins	Ovins	Caprins
Quantité du dernier achat				
Age des animaux achetés				
Utilisation par l' enquête des animaux achetés (travaux, vente, consommation...)				
Fréquence d'achat (préciser les quantités mini et maxi)				
Période d'achat max				
Lieu d'achat	Type de lieu (élevage/marché)			
	District			
	Commune			
	Fokontany			
	Village			
	Pourquoi ce marché/élevage ?			

→ S'il s'agit d'un éleveur :

Avez-vous **échangé** des animaux ces 2 dernières années (2009-2010) ? ☐ Oui ☐ Non

Si oui remplissez le tableau suivant :

		Bovins	Ovins	Caprins
Quantité échangé				
Age des animaux				
Utilisation (travaux, vente...)				
Fréquence d'échange				
Période d'échange max				
Echange	Nom de la ou des personnes			
	District			
	Commune			
	Fokontany			
	Village			
	Pourquoi cet élevage ?			

→ Avez-vous **vendu** des animaux ces 2 dernières années (2009-2010) ? ☐ Oui ☐ Non

Si oui remplissez le tableau suivant :

		Bovins	Ovins	Caprins
Quantité de la dernière vente				
Age des animaux				
Utilisation par l' acheteur des animaux achetés (travaux, vente, consommation...)				
Fréquence de vente (préciser les quantités mini et maxi)				
Période de vente max				
Lieu de vente	Type de lieu (élevage/marché)			
	District			
	Commune			
	Fokontany			
	Village			
Destination des animaux	Type de lieu (élevage/marché/boucherie)			
	District			
	Commune			
	Fokontany et Village			

Annexe 4: Proportion des acteurs par marchés d'après les responsables des marchés

Village	Fonction	% enquêtés	% d'après le responsable du marché
Ambatomena	éleveur	18	70
	boucher	0	10
	collecteur	82	20
Antanandava	éleveur	40	80
	boucher	20	10
	collecteur	40	10
Ambatolampy	collecteur	100	100
Ambatofahavalo	éleveur	18	30
	collecteur	82	70
Nazareta	éleveur	67	85
	boucher	0	5
	collecteur	33	10
Ampanotokana	éleveur	30	50
	boucher	0	30
	collecteur	70	20
Sabotsy-Ambohitromby	éleveur	0	20
	boucher	0	20
	collecteur	100	60
Antanamalaza	éleveur	50	80
	boucher	0	10
	collecteur	50	10
Ambohimandroso	éleveur	58	80
	boucher	0	10
	collecteur	42	10
Ambatonapoaka	éleveur	9	30
	collecteur	82	30
	boucher	9	40
Tsiromandidy	éleveur	0	20
	collecteur	91	35
	boucher	9	35
Talatavolonondry	éleveur	40	25
	boucher	0	25
	collecteur	60	70
Antsapanimahazo	éleveur	73	95
	collecteur	27	5
Faravohitra	éleveur	83	95
	collecteur	17	5
Ivohitra	éleveur	18	60
	collecteur	82	40
Tsaratanana	éleveur	100	80
	boucher	0	10
	collecteur	0	10
Andriamena	éleveur	75	70
	boucher	0	20
	collecteur	25	10

Annexe 5 : Liste des marchés du réseau de commercialisation lié à la commune Ambongamarina

N°	Nom du marché	Jour du marché	Latitude	Longitude	Marchés hors Zone	Destinat°	Région	District	Commune	Ordre (SNA)	Race
1	Ambatolampy	Mercredi	-18,32639	47,95026			Analamanga	Anjozorobe	Ambongamarina	1	C
2	Ambatomena	Lundi	-18,76302	47,76047			Analamanga	Manjakandrina	Ambatomena	1	L et C
3	Antanandava	Mardi	-18,28075	47,79827			Analamanga	Anjozorobe	Ambohimananarina-Marovazaha	1	L
4	Ampanotokana	Vendredi	-18,72725	47,31089			Analamanga	Ambohidratrimo	Ampanotokana	2	L
5	Ambohibary-Sambaina	Samedi					Analamanga	Manjakandrina	Ambohibary-Sambaina	2	
6	Alatsinainy-Bakaro	Lundi					Analamanga	Andramasina	Alatsinainy-Bakaro	2	
7	Alatsinainy-Mandroso	Lundi					Analamanga	Andramasina	Alatsinainy-Mandroso	3	
8	Talatavolonondry	Mardi	-18,74813	47,64583			Analamanga	Tana Avaradrano	Talatavolonondry	2	L et C
9	Ambatofahavalo	Mardi	-18,11155	47,60267			Analamanga	Tana Atsimondrano	Ambatofahavalo	2	L
10	Ambatolampy (Nazareta)	Mardi	-19,38719	47,41732			Vakinankaratra	Ambatolampy	Ambatolampy	2	C
11	Antanamalaza	Jeudi	-19,43002	47,62692			Vakinankaratra	Ambatolampy	Antanamalaza	2	L et C
12	Tsaratana	Jeudi	-16,8	47,5			Betsiboka	Tsaratana	Tsaratana	2	L
13	Andriamena	Jeudi	?	?			Betsiboka	Tsaratana	Andriamena	2	L
14	Ambohimandroso	Samedi	-19,51973	47,43463			Vakinankaratra	Antanifotsy	Ambohimandroso	3	L et C
15	Antsiriribe-Ambohimandroso	Mercredi					Vakinankaratra	Antanifotsy	Antsahalava	3	
16	Tsiromandidy-Ville	Jeudi et Vendredi	-18,76601	46,04748	+		Bongolava	Tsiromandidy	Tsiromandidy-ville	3	L
17	Tsiromandidy-Manambolo	Mardi et Mercredi	-18,72951	46,04298	+		Bongolava	Tsiromandidy	Tsiromandidy-Fihaonana	3	L
18	Alarobia-Vatosolo	Mercredi			+		Itasy	Miarinarivo	Alarobia-Vatosolo	4	
19	Sabotsy-Ambohitromby	Samedi	-19,22857	47,59681			Analamanga	Andramasina	Sabotsy-Ambohitromby	4	L
20	Ambatonapoaka	Lundi	-19,02537	47,23609			Itasy	Arivonimamo	Imeritsiatosika	3	L
21	Fotadrevo				+		Atsimo Andrefana	Ampanihi	Fotadrevo	4	L
22	Behenjy	Vendredi				+	Vakinankaratra	Ambatolampy	Behenjy	3	
23	Andolofotsy				+		Itasy	Miarinarivo	Andolofotsy	3	
24	Alatsinainy-Imerimandroso	Lundi				+	Analamanga	Tana	Ivato	3	L

25	Ambatomainty	Samedi			+		Melaky	Ambatomainty		4	L
26	Gogogogo	Lundi			+		Atsimo Andrefana	Ampanihi	Gogogogo	4	L
27	Ambahidaly				+		Atsimo Andrefana	Ampanihi	Ambahidaly	4	L
28	Lazarivo				+		Atsimo Andrefana	Betioky	Lazarivo	4	L
29	Bekily				+		Androy	Bekily		4	L
30	Betroka				+		Anosy	Betroka		4	L
31	Ihosalany (Andrefambala)	Vendredi et Samedi			+		Ihorombe	Ihosalany	Ihosalany	4	L
32	Ambalavao				+		Matsitra Ambony	Ambalavao	Ambalavao	3	L
33	Fenoarivobe				+		Bongolava	Fenoarivobe	Ambohitromby	3	L
34	Mahatsinjo	Mercredi			+		?	Andriba	Mahatsinjo	3	
35	Miandrivazo				+		Menabe	Miandrivazo	Miandrivazo	3	L
36	Analavory	Mardi			+		Itasy	Miarinarivo	Analavory	4	
37	Ankerana	Mercredi				+	Itasy	Arivonimamo	Imeritsiatosika	4	
38	Alakamisy-Fenoarivo	Jeudi				+	Analamanga	Tana Atsimondrano	Alakamisy-Fenoarivo	4	
39	Mandoto	Mercredi					Vakinankaratra	Antsirabe I	Mandoto	4	
40	Faravohitra	Jeudi	-19,60581	47,16422			Vakinankaratra	Antsirabe II	Ambohibary	4	L et C
41	Antsapanimahazo	Mercredi	-19,41342	47,01817			Vakinankaratra	Faratsiho	Antsapanimahazo	4	L et C
42	Antsahamaina	Lundi					Vakinankaratra	Antanifotsy	Antanifotsy	4	L et C
43	Antsirabe	Samedi	-19,88302	47,00726			Vakinankaratra	Antsirabe I	Antsirabe-Ville	4	L et C
44	Soalala				+		Boeny	Soalala	Andranomavo	4	L
45	Besalampy				+		Melaky	Besalampy	Marovoay	4	L
46	Maintirano				+		Melaky	Maintirano	Maintirano	4	L
47	Morafenobe				+		Melaky	Morafenobe	Morafenobe	4	L
48	Sadabe	Lundi					Analamanga	Manjakandrina	Sadabe	4	
49	Vinaninony	Lundi			+		Vakinankaratra	Faratsiho	Vinaninony	5	
50	Soavinandriana	Lundi			+		Itasy	Soavinandriana	Soavinandriana	5	
51	Miandrarivo	Vendredi					Vakinankaratra	Faratsiho	Miandrarivo	5	L et C
52	Ambatofinandriahana	Samedi			+		Amoron'i Mania	Ambatofinandriahana	Ambatofinandriahana	5	
53	Manandriana	Mercredi			+		Amoron'i Mania	Manandriana	Manandriana	5	
54	Ambositra	Samedi			+		Amoron'i Mania	Ambositra	Ambositra	5	
55	Sasamo	Mercredi			+		Androy	Bekily	Sasamo	5	L
56	Betafo	Mercredi			+		Vakinankaratra	Betafo	Betafo	5	
57	Manja				+		Menabe	Manja	Manja	5	L
58	Ambohibary-Volihena	Vendredi				+	Analamanga	Manjakandrina	Ambohibary-Volihena	?	

59	Alarobia-Bemà				+		Vakinankaratra	Betafo	Alarobia-Bemà		
60	Amparafaravola					+	Alaotra Mangoro	Amparafaravola	Amparafaravola		L
61	Ambondromamy				+		Boeny	Ambatoboeny	Ambondromamy		L
62	Andranofito						Vakinankaratra	Antanifotsy	Andranofito		
63	Andravola						Vakinankaratra	Ambatolampy	Andravola		
64	Berohy				+		Atsimo Andrefana	Ampanihy	Berohy		L
65	Ankandrinondry-Sakay				+		Bongolava	Tsiromandidy	Ankandrinondry-Sakay		
66	Ankavoribe-Faravohitra						Analamanga	Tana-Atsimondrano	Ambatofahavalo		
67	Antsapandrano				+		?	Antsapandrano	Antsapanimahazo		
68	Mampikony				+		?	Mampikony	Mampikony		

Annexe 6: Betwenness des villages de la Commune Ambongamarina

Villages	Echange	achat/vente	Commerce
Ambatolampy	0.000000	0.000000	0.000000
Amboanonoka	56.833333	179.685714	166.621429
Amboaroihazo	18.000000	43.733333	16.203571
Ambohijanahary	-	76.000000	25.185714
Ambohimadera	0.000000	13.233333	58.275000
Ambohimahatsinjo	0.000000	0.000000	0.000000
Ambohimandroso	0.000000	2.750000	2.983333
Ambohimiaramanana	6.500000	282.780952	332.707143
Ambohitromby	-	0.000000	0.000000
Ambondrona	-	0.000000	0.000000
Ambongabe	7.333333	70.400000	40.833333
Ambongamarina	17.000000	458.895238	216.617857
Ampamoha	12.000000	128.666667	148.336905
Ampazanava	-	0.000000	0.000000
Amparihy	-	0.000000	0.000000
Ampasika	0.000000	0.000000	4.984524
Andranonahoatra	0.000000	7.409524	0.000000
Andrebakely	0.000000	35.835714	10.116667
Anjzorovola	0.000000	60.500000	42.416667
Ankazabe	0.000000	-	0.000000
Ankerana	0.000000	88.666667	45.235714
Anorana	0.000000	83.833333	68.250000
Anosimanarivo	4.500000	76.166667	102.850000
Antanifotsy	50.583333	188.835714	309.196429
Antanisoa	-	14.500000	9.000000
Antobitsianaka	-	0.000000	0.000000
Antseranana	-	0.000000	0.000000
Besorindrana	0.000000	0.000000	10.288095
Fenoarivo	27.000000	74.452381	155.584524
Fierferana	0.000000	-	0.000000
Mahazoarivo	0.000000	7.500000	23.083333
Mandrizaza	8.250000	29.835714	37.366667
Mangarivotra	-	0.000000	0.000000
Miaramandroso	0.000000	-	0.000000
Miaramasoandro	0.000000	-	0.000000
Miarinarivo	7.000000	0.000000	31.000000
Morarano	-	32.916667	8.850000
Morarano kely	0.000000	-	0.000000
Sahabevary	0.000000	-	0.000000
Saharoa	0.000000	0.000000	0.000000
Tsarafaritra	-	38.209524	10.125000
Tsarahonenana	0.000000	0.000000	0.000000
Tsaramandroso	4.000000	24.500000	20.338095
Tsaramasoandro	0.000000	57.692857	11.550000
Tsaranierana	-	0.000000	0.000000

Annexe 7: Prévalence en IgG et IgM des villages des différents fokontany de la Commune Ambongamarina lors des épidémies de 2008 © Base de données Rift-OI

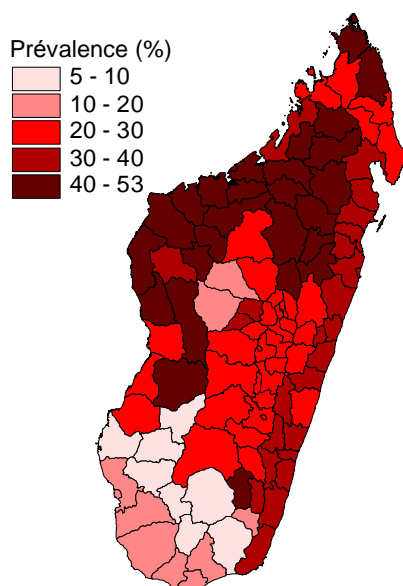
Fokontany	Village	P(IgG)	P(IgM)
Amboanonoka	Amboanonoka	32,75862069	0
Amboanonoka	Ambohitraivo	22,22222222	0
Amboanonoka	Antseranana	20	0
Amboanonoka	Mahazoarivo	20	6,666666667
Amboanonoka	Saharoa	33,33333333	0
Ambohimiamanana	Ambohimiamanana	27,69230769	1,538461538
Ambohimiamanana	Ankazabe	50	0
Ambohimiamanana	Morarano	36,36363636	0
Ambohimiamanana	Tsaranierana	27,27272727	0
Ambongabe	Ambongabe	17,94871795	0
Ambongabe	Ankerana	27,5862069	3,448275862
Ambongamarina	Ambatolampy	48,38709677	0
Ambongamarina	Ambongamarina	31,03448276	0
Ambongamarina	Ampasika	33,33333333	0
Ambongamarina	Anjozorovola	3,703703704	0
Ambongamarina	Tsarahonenana	20	0
Ambongamarina	Tsaramandroso	25,92592593	0
Ampamoha	Amboaroihazo	18,05555556	0
Ampamoha	Ambohimandroso	25	0
Ampamoha	Ampamoha	20	0
Ampamoha	Andranonahoatra	18,18181818	18,18181818
Ampamoha	Andrebakely	50	0
Ampamoha	Fenoarivo	15,38461538	0
Ampamoha	Mandrizaza	11,76470588	0
Ampamoha	Mangarivotra	20	0
Ampamoha	Miaramasoandro	37,5	0
Ampamoha	Tsaramasoandro	11,11111111	0
Anosimamarivo	Ambohibary	25	0
Anosimamarivo	Ambohijanahary	44,11764706	0
Anosimamarivo	Ambohimadera	21,21212121	0
Anosimamarivo	Ambohimahatsinjo	36,36363636	0
Anosimamarivo	Ambohitaratany	60	0
Anosimamarivo	Ampanazava	33,33333333	0
Anosimamarivo	Anosimamarivo	27,5862069	3,448275862
Anosimamarivo	Antanisoa	42,10526316	0
Anosimamarivo	Miarinarivo	42,85714286	0
Anosimamarivo	Morarano kely	25	0
Anosimamarivo	Sahabevary	71,42857143	0
Anosimamarivo	Tsaramasoandro II	33,33333333	0
Antanifotsy	Anorana	14,28571429	0
Antanifotsy	Antanifotsy	18,75	3,125

P(IgG) = prévalence en IgG
(Infection Ancienne)

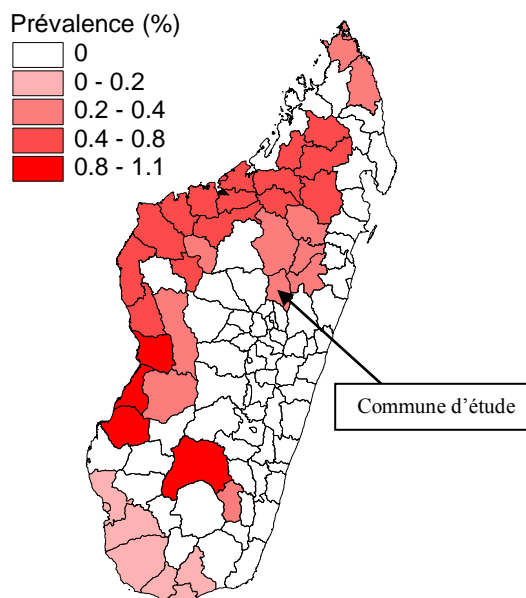
P(IgM) = prévalence en IgM
(Infection Récente)

Village = villages les plus à
risque selon les analyses
statistiques du projet Rift-OI

Prévalence d'IgG chez les bovins



Prévalence des IgM chez les bovins



Certains districts s'avèrent avoir des prévalences en IgG allant jusqu'à 53% et nous constatons que, sur l'ensemble de l'île, les bovins sont porteurs d'IgG spécifiques à la FVR. Nous ne pouvons réellement savoir depuis quand ces animaux ont été en contact avec la maladie puisque la présence d'IgG dans le sang n'est qu'un indicateur d'une contamination dans le passé. Un fait important est souligné par ces données. En effet, la répartition des prévalences d'IgG montre que les districts les plus touchés sont au Nord et à l'Ouest de l'île, or ce sont ces zones qui fournissent les bovins de races locales rencontrées dans le réseau de commercialisation identifié. Les prévalences en IgM quant à elles, montrent une couverture moins grande de la contamination des bovins à Madagascar, lors des enquêtes. Certaines zones de l'île sont plus atteintes que d'autres (*i.e.*, les régions Menabe et Ihorombe qui ont des prévalences comprises entre 0,8% et 1,1%). Ceci semble indiquer que la maladie était en cours d'évolution lors des enquêtes de prévalence. Ainsi la maladie a pu poursuivre sa propagation par la suite.

Les résultats des enquêtes de la FAO, mis en relation avec les mouvements de bovins identifiés par le réseau de commercialisation, pourraient impliquer que les bovins originaires du Nord-ouest de l'île représentent un risque de dissémination plus important pour la commune Ambongamarina.

La couverture de prévalence en IgG met en avant la forte contamination de la zone d'élevage du Nord - Nord-ouest de l'île qui fournit des bovins de races locales au réseau de commercialisation identifié. Par opposition, les bovins de la zone d'élevage des races croisées sont indemnes en IgM. Ceci pourrait indiquer que l'infection s'est propagée par les races locales et donc par les mouvements commerciaux liés à ces bovins. La transmission aux races croisées se ferait seulement par la suite, lors de contact avec des bovins porteur du virus.

Des études complémentaires pourront sans doute nous éclairer sur la réelle implication des mouvements d'animaux dans la dissémination de la FVR à Madagascar.